

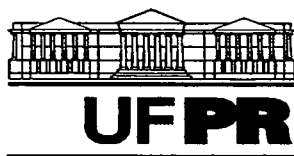
**DENNIS BERNARDI**

**ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA DETECÇÃO DE  
MUDANÇAS DO USO DO SOLO NO SUDOESTE DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA, USANDO LANDSAT 5 TM**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais, Área de Concentração Manejo Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Atílio Antonio Disperati

**CURITIBA  
2001**



Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Agrárias – Centro de Ciências Florestais e da Madeira  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**  
Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico – CAMPUS III  
80210-170 - CURITIBA - Paraná  
Tel. (41) 360.4212 - Fax (41) 360.4211 - <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao>  
e-mail: [pinheiro@floresta.ufpr.br](mailto:pinheiro@floresta.ufpr.br)

## PARECER

Defesa nº 444

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o mestrando *DENNIS BERNARDI* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado “ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA DETECÇÃO DE MUDANÇAS DO USO DO SOLO NO SUDOESTE DO ESTADO DE SANTA CATARINA, USANDO IMAGENS LANDSAT 5 TM. ”, é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do acadêmico, habilitando-o ao título de *Mestre em Ciências Florestais*, na área de concentração em *Manejo Florestal*.

**Dr. Attilio Antonio Disperati**

Professor e pesquisador do Departamento de Ciências Florestais da UFPR  
Orientador e presidente da banca examinadora

**Dr. João Roberto dos Santos**

Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Primeiro examinador

**Dr. Yeda Malheiros de Oliveira**  
Pesquisadora da EMBRAPA/Floresta  
Segundo examinador



Curitiba, 10 de setembro de 2001.

**Nivaldo Eduardo Rizzi**

Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

**Franklin Galvão**

Vice-coordenador

**A minha esposa, *Diucélia*  
e a toda minha família,**

**Dedico.**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Attilio Antonio Disperati, pela orientação dessa dissertação, colaborando nos momentos de indecisão muito mais como amigo do que como um simples orientador.

Aos demais membros do comitê de orientação, Dr. João Roberto dos Santos e Prof. Dr. Flávio Felipe Kirchner, que sempre estiveram disponíveis quando necessário.

A empresa Klabin/Celucat S/A, pelo fornecimento dos dados necessários para a presente pesquisa.

Aos colegas e amigos do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, àqueles cuja convivência foi intensa durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos Engenheiros Florestais Flávio Sergio Mendes e Sandro Renato Fleith da empresa Klabin/Celucat S/A pelo companheirismo, e apoio ao trabalho de campo.

A todos os professores e funcionários do curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal que direta ou indiretamente colaboraram para a execução desta pesquisa.

A bibliotecária Tânia de Barros Bagio pelas correções que propiciaram uma uniformização no presente trabalho.

Ao CNPq, pela bolsa concedida.



## SUMÁRIO

	<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	vi
	<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	vii
	<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
	<b>RESUMO</b> .....	ix
	<b>ABSTRACT</b> .....	x
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2</b>	<b>Objetivos</b> .....	4
2.1	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	4
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	6
3.1	<b>SENSORIAMENTO REMOTO</b> .....	6
3.1.1	Número Digital, Resolução Espacial e definição de imagem .....	9
3.1.2	Comportamento Espectral de alvos .....	10
3.1.3	Processamento Digital de Imagens .....	12
3.1.4	Técnicas de Detecção de Alteração em Imagens Orbitais .....	12
3.1.4.1	Comparação pós-classificação .....	14
3.1.4.2	Análise por principais componentes (APC) .....	15
3.1.4.3	Análise por principais componentes seletivas (APCS) .....	20
3.2	<b>SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)</b> .....	21
3.2.1	Análise Espacial .....	23
3.2.2	Avaliação do Desempenho das Classificações .....	24
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	27
4.1	<b>MATERIAIS</b> .....	27
4.1.1	Área de Estudo .....	27
4.1.2	Produtos Orbitais .....	28
4.1.3	Produtos Cartográficos .....	28
4.1.4	Softwares e Hardwares Utilizados .....	28
4.2	<b>MÉTODOS</b> .....	28
4.2.1	Digitalização e Vetorização dos Dados .....	30
4.2.2	Imagens do Landsat 5 TM .....	30
4.2.3	Pré-processamento das Imagens Landsat 5 TM .....	31
4.2.3.1	Leitura dos dados originais .....	32
4.2.3.2	Registros das imagens .....	32
4.2.3.3	Recorte da área de interesse da imagem .....	33
4.2.3.4	Recorte das regiões com nuvens da área de interesse .....	33
4.2.3.5	Análise de principais componentes para cada época .....	33
4.2.3.6	Comparação de uma composição colorida utilizando as bandas originais com uma composição colorida utilizando as principais componentes .....	34
4.2.3.7	Classificação supervisionada .....	35
4.2.3.8	Análise de principais componentes seletivas (APCS) .....	37
4.2.3.9	Limiares de mudanças para a análise das principais componentes seletivas .....	37
4.2.3.10	Integração no ambiente de SIG .....	38
4.2.3.11	Trabalho de campo .....	40
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	41
5.1	<b>VETORIZAÇÃO DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS</b> .....	41
5.2	<b>PRÉ-PROCESSAMENTO DAS IMAGENS ORIGINAIS</b> .....	41
5.2.1	Leitura dos Dados Originais .....	41
5.2.2	Registro das Imagens .....	42
5.2.2.1	Imagem para mapa .....	42
5.2.2.2	Imagem para imagem .....	43
5.3	<b>RECORTE DA ÁREA DE INTERESSE</b> .....	43
5.4	<b>ESTATÍSTICA UNIDIMENSIONAL DAS IMAGENS LANDSAT 5 TM</b> .....	44
5.5	<b>ESTATÍSTICA MULTIVARIADA DAS IMAGENS LANDSAT 5 TM</b> .....	47

5.5.1	Estatística Multivariada dos Pares de Bbandas (APCS) .....	50
5.6	COMPARAÇÃO VISUAL DA COMPOSIÇÃO COLORIDA UTILIZANDO AS BANDAS ORIGINAIS COM UMA COMPOSIÇÃO COLORIDA UTILIZANDO AS PRINCIPAIS COMPONENTES .....	52
5.7	DEFINIÇÃO DAS CLASSES PARA A CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA .....	55
5.7.1	Resultados da Classificação Supervisionada .....	65
5.7.2	Avaliação da Classificação Supervisionada a Partir das Amostras de Treinamento .....	69
5.7.2.1	Acurácia total .....	69
5.7.2.2	Kappa .....	69
5.7.3	Avaliação da Classificação Supervisionada a Partir dos Pontos de Controle .....	70
5.7.3.1	Acurácia total .....	71
5.7.3.2	Kappa .....	72
5.7.4	Diferença Entre as Classificações Supervisionadas .....	72
5.8	ANÁLISE DAS MUDANÇAS ATRAVÉS DA TÉCNICA DE PRINCIPAIS COMPONENTES SELETIVAS .....	75
5.8.1	Definição dos Limiares de Detecção de Mudanças .....	75
5.8.2	Resultados da Comparação das Duas Técnicas .....	77
6	CONCLUSÕES .....	85
	REFERÊNCIAS .....	87
	ANEXOS .....	92

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	PRECIPITAÇÃO OCORRIDA NA REGIÃO DE ESTUDOS NOS DIAS QUE ANTECEDERAM A OBTENÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE .....	31
TABELA 2 -	PESOS ATRIBUÍDOS AS DIFERENTES CLASSES NA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA.....	39
TABELA 3 -	NÍVEIS DE INFORMAÇÃO E O SEU CONTEÚDO.....	41
TABELA 4 -	ESTATÍSTICAS BÁSICAS DAS IMAGENS LANDSAT 5 TM UTILIZADAS .....	45
TABELA 5 -	MATRIZ DE VARIÂNCIA-COVARIÂNCIA DAS BANDAS DE 1986 .....	48
TABELA 6 -	MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS BANDAS DE 1986.....	48
TABELA 7 -	MATRIZ DE VARIÂNCIA-COVARIÂNCIA DAS BÂNDAS DE 1997 .....	49
TABELA 8 -	MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS BANDAS DE 1997.....	49
TABELA 9 -	AUTO-VALORES DA APC DA IMAGEM DE 1986.....	49
TABELA 10 -	AUTO-VALORES DA APC DA IMAGEM DE 1997.....	50
TABELA 11 -	APCS DA BANDA TM 1 .....	50
TABELA 12 -	APCS DA BANDA TM 2 .....	51
TABELA 13 -	APCS DA BANDA TM 3 .....	51
TABELA 14 -	APCS DA BANDA TM 4 .....	51
TABELA 15 -	APCS DA BANDA TM 5 .....	52
TABELA 16 -	APCS DA BANDA TM 7 .....	52
TABELA 17 -	RESULTADOS DA COMPARAÇÃO DAS COMPOSIÇÕES COLORIDAS.....	54
TABELA 18 -	ASSINATURAS ESPECTRAIS DAS CLASSES MAPEADAS PARA 1986.....	62
TABELA 19 -	ASSINATURAS ESPECTRAIS DAS CLASSES MAPEADAS PARA 1997.....	63
TABELA 20 -	MATRIZ DE CONFUSÃO PARA AS CLASSES DE TREINAMENTO – 1986 (%).....	65
TABELA 21 -	MATRIZ DE CONFUSÃO PARA AS CLASSES DE TREINAMENTO – 1997 (%).....	65
TABELA 22 -	RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA.....	66
TABELA 23 -	QUALIFICAÇÃO DAS MUDANÇAS OCORRIDAS NO PERÍODO .....	68
TABELA 24 -	INTERPRETAÇÃO DA ESTATÍSTICA KAPPA.....	70
TABELA 25 -	DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE .....	70
TABELA 26 -	MATRIZ DE CONFUSÃO PARA OS PONTOS DE CONTROLE.....	71
TABELA 27 -	RESULTADO DA DIFERENÇA DAS CLASSIFICAÇÕES SUPERVISIONADAS.....	72
TABELA 28 -	RESULTADOS OBTIDOS PELA COMPARAÇÃO DAS CLASSIFICAÇÕES, UTILIZANDO OS PESOS ATRIBUÍDOS PARA CADA CLASSE.....	74
TABELA 29 -	VALORES ATRIBUÍDOS AS SEGUNDAS PRINCIPAIS COMPONENTES PARA DIFERENCIAR OS LIMIARES DE CLASSIFICAÇÃO.....	76
TABELA 30 -	VALORES RESULTANTES DA MULTIPLICAÇÃO EFETUADA ENTRE A “IMAGEM DIFERENÇA” E AS SEGUNDAS PRINCIPAIS COMPONENTES SELETIVAS.....	77
TABELA 31 -	COMPARAÇÃO DA APCS DA BANDA TM 1 COM A DIFERENÇA DAS CLASSIFICAÇÕES SUPERVISIONADAS.....	79
TABELA 32 -	COMPARAÇÃO DA APCS DA BANDA TM 2 COM A DIFERENÇA DAS CLASSIFICAÇÕES SUPERVISIONADAS.....	80
TABELA 33 -	COMPARAÇÃO DA APCS DA BANDA TM 3 COM A DIFERENÇA DAS CLASSIFICAÇÕES SUPERVISIONADAS.....	81
TABELA 34 -	COMPARAÇÃO DA APCS DA BANDA TM 4 COM A DIFERENÇA DAS CLASSIFICAÇÕES SUPERVISIONADAS.....	82
TABELA 35 -	COMPARAÇÃO DA APCS DA BANDA TM 5 COM A DIFERENÇA DAS CLASSIFICAÇÕES SUPERVISIONADAS.....	83
TABELA 36 -	COMPARAÇÃO DA APCS DA BANDA TM 7 COM A DIFERENÇA DAS CLASSIFICAÇÕES SUPERVISIONADAS.....	84

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - COMPARAÇÃO DAS ASSINATURAS ESPECTRAIS PELAS MÉDIAS DOS VALORES DE BRILHO DA IMAGEM DE 1986 .....	64
GRÁFICO 2 - COMPARAÇÃO DAS ASSINATURAS ESPECTRAIS PELAS MÉDIAS DOS VALORES DE BRILHO DA IMAGEM DE 1997 .....	64
GRÁFICO 3 - DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES NAS DUAS DATAS CONSIDERADAS .....	67

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ALGUNS ALVOS PARA A CARACTERIZAÇÃO DO USO DO SOLO.....	11
FIGURA 2 -	ESQUEMA BIDIMENSIONAL DA TRANSFORMAÇÃO POR PRINCIPAL COMPONENTE.....	17
FIGURA 3 -	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS.....	27
FIGURA 4 -	FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DA PESQUISA.....	29
FIGURA 5 -	ESQUEMA DE HISTOGRAMA MOSTRANDO OS PIXELS DE MUDANÇAS CONSIDERADOS APÓS A APLICAÇÃO DO LIMIAR DE MUDANÇA.....	38
FIGURA 6 -	HISTOGRAMA DA BANDA 1 DE 1986 E 1997 .....	46
FIGURA 7 -	HISTOGRAMA DA BANDA 2 DE 1986 E 1997 .....	46
FIGURA 8 -	HISTOGRAMA DA BANDA 3 DE 1986 E 1997 .....	46
FIGURA 9 -	HISTOGRAMA DA BANDA 4 DE 1986 E 1997 .....	46
FIGURA 10 -	HISTOGRAMA DA BANDA 5 DE 1986 E 1997 .....	47
FIGURA 11 -	HISTOGRAMA DA BANDA 7 DE 1986 E 1997 .....	47
FIGURA 12 -	EXEMPLO DA CLASSE “REFLORESTAMENTO” EM COMPOSIÇÃO COLORIDA 543-RGB E PC1PC2PC3-RGB.....	54
FIGURA 13 -	EXEMPLO DA CLASSE “FLORESTA NATIVA” EM COMPOSIÇÃO COLORIDA 543-RGB E PC1PC2PC3-RGB.....	54
FIGURA 14 -	NA PARTE CENTRAL DA FOTO TEMOS UM EXEMPLO DA CLASSE “ÁGUA” COM “CAMPO” NOS ARREDORES E “CIDADE” AO FUNDO .....	57
FIGURA 15 -	EXEMPLO DA CLASSE “CAMPO” .....	58
FIGURA 16 -	FOTOGRAFIA AÉREA EXEMPLIFICANDO A CLASSE “CIDADE” .....	58
FIGURA 17 -	AO FUNDO EXEMPLO DA CLASSE “FLORESTA NATIVA” NO LADO DIREITO “AGRICULTURA” E NO PRIMEIRO PLANO “CAMPO”.....	59
FIGURA 18 -	EXEMPLO DA CLASSE “REFLORESTAMENTO” .....	59
FIGURA 19 -	FOTOGRAFIA AÉREA EXEMPLIFICANDO AS CLASSES “FLORESTA NATIVA” LADO ESQUERDO, “CAMPO” E “SOLO EXPOSTO” LADO DIREITO .....	60
FIGURA 20 -	FOTOGRAFIA AÉREA DE UM REFLORESTAMENTO DE PINUS SP., ONDE PODEMOS VERIFICAR A PRESENÇA DE SOMBRAS DE NUENS.....	60

## RESUMO

A presente pesquisa tem como objetivo desenvolver procedimentos de detecção de mudanças do uso do solo na região sudoeste do Estado de Santa Catarina, a partir da utilização de análise por componentes principais em dados TM/Landsat. A abordagem metodológica adotada constou de dois distintos procedimentos: o primeiro, envolvendo a comparação dos resultados das classificações supervisionadas, sendo estas efetuadas com as três primeiras principais componentes de cada época investigada (anos de 1986 e 1997); o segundo, consistiu na comparação de pares de bandas de cada época, aplicando-se sobre estes a análise por principais componentes seletivas (APCS), com a utilização somente da segunda principal componente. De uma forma generalizada, através da classificação supervisionada das imagens sintéticas desses dois procedimentos, foi possível a diferenciação de oito classes temáticas de uso do solo. Os resultados temáticos foram integrados em um ambiente de sistema de informações geográfica (SIG), possibilitando a comparação dos procedimentos. Particularmente, a utilização de pesos no SIG, quando da comparação das duas classificações, facilitou a visualização das mudanças ocorridas, sendo diferenciadas apenas 1 classe de não mudança e 57 classes de mudanças, as quais correspondiam a 51,62% da área de estudo. Como informação conclusiva para essa região estudada, apresentando uma complexidade de paisagens florestais, pode-se afirmar: o par de bandas que apresentou maior correlação na APCS foi formado pelas bandas TM5; a APCS possibilitou a diferenciação das regiões com recuperação ou degradação da vegetação, sem, contudo qualificar o tipo de mudança ocorrida, mesmo testando-se diferentes limiares de detecção (0,25 a 2,00 desvios-padrão). Com base na análise descritiva e os resultados alcançados pode-se afirmar que tais procedimentos são perfeitamente aplicáveis em estudos de dinâmica de uso e cobertura vegetal, facilitando a estratificação temática e sua cartografia, como subsídios a planos de manejo e ocupação florestal.

## ABSTRACT

The main purpose of the present research is to develop procedures of change detection in the land use located at the southwest of Santa Catarina State, using principal components analysis (PCA) and TM/Landsat. The methodological approach consisted of two different procedures: the first, involving the comparison of the results of the supervised classifications, being these made with the three first PCA of each investigated time (years of 1986 and 1997); the second, it consisted of the comparison of pairs of bands of each time, being applied on these the selective principal components analysis (SPCA), with the selection only of the second principal component. In a widespread way, through the supervised classification of the synthetic images of those two procedures, it was possible the differentiation of eight thematic classes of land use. The thematic results were integrated in an ambient of geographical information system (GIS), facilitating the comparison of the procedures. Particularly, the use of weights in GIS, when comparing the two classifications, facilitated the visualization of the changes, being just differentiated 1 non change class and 57 classes of changes, which corresponded at 51,62% of the study area. As conclusive information for the studied area, presenting a complexity of forest landscapes, it can be affirmed: the pair of bands that presented larger correlation in SPCA was formed by the bands TM5; SPCA facilitated the differentiation of the areas with recovery or degradation of the vegetation, without however to qualify the type of change, although being tested different detection thresholds (0,25 to 2,00 standard deviation). With base in the descriptive analysis and the reached results can be affirmed that such procedures are perfectly applicable in studies of land use change detection, facilitating the thematic stratification and its cartography, as subsidy to forest management plans.

## 1 INTRODUÇÃO

O monitoramento detalhado de grandes áreas tem sido feito, muitas vezes, utilizando-se imagens do satélite Landsat 5 TM, HERNANDEZ FILHO e FARIA (1990), MEDEIROS e AMARO (1990), VENTURIERI, FUNAKI e MEDEIROS (1990), AZEVEDO *et al.* (1993), BEZERRA (1993), FARIA, KRUG e SHIMABUKURO (1993). Para todos estes autores, a utilização dos dados do satélite Landsat 5 TM foi satisfatória quanto ao nível de detalhe mapeado, suprimindo as necessidades de forma confiável e economicamente viável.

A relação atual de custo/benefício das imagens Landsat conduz a que muitos trabalhos estejam sendo executados ainda com o auxílio destas imagens, mesmo com o advento de novos satélite de alta resolução, como o Ikonos II que apresenta resolução espacial de 1 e 4 metros no modo pancromático e multiespectral respectivamente. A utilização dos dados dos satélites da série Landsat ainda é freqüente, principalmente pelo baixo custo das imagens e pelo tamanho da área que recobrem.

A utilização de imagens de sensores remotos no monitoramento da dinâmica da paisagem requer a interpretação e a comparação das classes de cobertura do terreno em diferentes datas. É possível também a detecção automática das áreas em que houve mudanças, diminuindo assim o tempo necessário à sua caracterização. A detecção automática da dinâmica da paisagem baseia-se no pressuposto de que, em geral, diferentes comportamentos espectrais correspondem a um diferente cobertura do uso do solo.

Uma das etapas mais onerosas para a detecção de mudanças diz respeito às correções atmosféricas que necessitam ser executadas nas imagens para eliminar diferenças de reflectância de alvos influenciadas por condições atmosféricas presentes no momento de aquisição das imagens. Entretanto com a técnica de principais componentes, é automática a correção das diferenças de baixa freqüência entre imagens multitemporais causadas por diferenças atmosféricas ou de calibração do



sensor (CHAVEZ e MACKINNON, 1994, JIAJU, 1988).

Neste trabalho utilizaram-se duas formas diferentes de aplicação da análise por principais componentes.

Na primeira, fez-se a análise por principais componentes visando à obtenção de um novo conjunto de imagens sintéticas para cada uma das épocas de estudo, e a partir deste novo conjunto de imagens fez-se a classificação supervisionada para cada época. A análise integrada dessas classificações permitiu a geração de uma “imagem temática de diferença”. Com esse procedimento evitou-se a necessidade de fazer a correção atmosférica nas imagens originais. Esta serviu também como “verdade terrestre” para a avaliação da técnica de detecção automática das mudanças apresentada a seguir.

A segunda forma utilizada neste trabalho foi à análise por principais componentes visando à detecção automática da dinâmica da paisagem, assim como fizeram muitos autores, sendo alguns citados: FUNG e LEDREW (1987), JIAJU (1988), LEE, SHIMABUKURO e HERNANDEZ FILHO (1990), EASTMAN e FULK (1993), MUCHONEY e HAACK (1994), CARRILHO, SOARES e VALÉRIO FILHO (1996), HIROSAWA, MARSH e KLIMAN (1996), WATRIN, VALÉRIO FILHO e SANTOS (1996), GOMES e MALDONADO (1998), SIRTOLI (1998) e MALDONADO (1999).

A esta técnica foi dado o nome de análise por principais componentes seletivas (APCS), a qual tem como a finalidade avaliar a dinâmica da paisagem sem, contudo ter a necessidade de fazer classificações nas imagens, diminuindo assim o tempo e o custo necessário para tal procedimento. A utilização desta técnica vem ao encontro do tamanho da área de estudo, que é de aproximadamente um milhão de hectares.

Justifica-se a execução deste trabalho, quando se deseja obter por uma maneira rápida e precisa, as regiões onde ocorreram mudanças sem, contudo qualificar os tipos de mudanças ocorridos. Isto é necessário quando a nível regional deseja-se

quantificar as áreas de recuperação/degradação da vegetação, sendo que muitas vezes estas informações são preciosas para a tomada rápida de decisão por parte de instituições públicas e privadas.

Para a comparação destas duas técnicas de detecção de mudanças foi utilizado o ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), visto este apresentar as características necessárias para a tarefa proposta. No SIG devido ao fato de se utilizar os dados georeferenciados, as comparações dos dois métodos é bastante facilitada. Utilizou-se também o SIG como uma ferramenta apropriada para o cruzamento de dados, facilitando os testes dos limiares de mudanças, aplicados na técnica de detecção automática.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo geral da presente pesquisa foi o de mapear, em duas épocas diferentes, uma área de aproximadamente 1.000.000 ha localizada no sudoeste do estado de Santa Catarina, visando a detecção das mudanças de uso do solo ocorridas na região, utilizando-se a análise por principais componentes e imagens Landsat 5 TM.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Geração da cartografia básica da região de estudos em meio digital;
- b) Definição metodológica englobando a análise original por principais componentes sobre todas as bandas ópticas do Landsat 5 TM e a análise por principais componentes seletivas;
- c) Comparação visual de composição colorida utilizando as bandas originais com as três primeiras principais componentes;
- d) Avaliação da estatística multivariada para a análise por principais componentes e análise por principais componentes seletivas;
- e) Classificação supervisionada das três primeiras principais componentes obtidas das imagens Landsat 5 TM para os anos de 1986 e 1997, avaliando a dinâmica da paisagem pelas diferenças nos períodos considerados;
- f) Avaliação das classificações através das estatísticas Kappa e Acurácia Total;
- g) Aplicação da técnica de análise por principais componentes seletivas para a avaliação da dinâmica da paisagem;
- h) Definição de limiares para a detecção automática das mudanças ocorridas;

- i) Integração dos produtos em um ambiente de SIG visando facilitar as comparações efetuadas;
- j) Comparação pós-classificação dos dois métodos utilizados para a avaliação das caracterizações temáticas estabelecidas.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 SENSORIAMENTO REMOTO

A origem do sensoriamento remoto está ligada as experiências de Newton efetuadas em 1822 (INPE, 1998), constatando que um raio luminoso (luz branca) ao atravessar um prisma, desdobrava-se num feixe colorido, o espectro de cores.

Sempre avançando em seus experimentos, os cientistas conseguiram provar que a onda de luz era uma onda eletromagnética, mostrando que a luz visível é apenas uma das muitas diferentes espécies de ondas eletromagnéticas.

Para alguns autores a origem do Sensoriamento Remoto está ligada ao desenvolvimento de sensores fotográficos, mas verifica-se que o Sensoriamento Remoto é fruto de um esforço multidisciplinar que envolveu e envolve avanços em diferentes ciências anteriores ao advento da câmera fotográfica (INPE, 1998).

Atualmente grandes avanços estão sendo dados no âmbito do Sensoriamento Remoto com o lançamento de novos satélites, tais como, Landsat 7 e Ikonos II sendo este um satélite de alta resolução espacial, podendo obter imagens com 1 ou 4 m de resolução espacial, no modo pancromático e multiespectral respectivamente.

LANDGREBE (1978), define sensoriamento remoto com a ciência de obtenção de informações sobre um objeto a parte de medidas efetuadas à distância deste objeto, por exemplo, sem estar em contato com ele.

O sensoriamento remoto mede as trocas energéticas entre os objetos e o meio ambiente. Essas trocas manifestam-se predominantemente por emissão ou modificações na radiação eletromagnética, ou perturbação nos campos naturais. O sensoriamento envolve a medida de registro da energia no espaço e no tempo. Podemos envolver essas observações em três domínios:

- a) Espacial (tamanho, forma e distribuição);
- b) Temporal (variações no decorrer do tempo);

- c) Físico (trocas energéticas por radiação eletromagnética ou alteração em campos de força).

É no domínio espacial, que grande parte dos esforços tem sido dirigida às técnicas de tratamento digital de imagens, as quais vêm possibilitando a identificação, delimitação, mensuração e análise do inter-relacionamento de objetos ou fenômenos. Os diferentes materiais presentes na superfície terrestre devido a suas composições químicas e propriedades físicas apresentam comportamentos distintos ao longo do espectro eletromagnético, para diferentes atributos (emissividade, reflectância, absorbância, transmissividade, luminescência), é nisso que o sensoriamento remoto tem seus fundamentos. Sensores espaciais são capazes de investigar estes atributos e, eventualmente, discriminar determinados objetos ou fenômenos (AMARAL, 1990).

Utilizando-se da análise temporal pode-se avaliar a dinâmica da paisagem de uma determinada região; para tanto tem que se dispor de um sensor remoto capaz de imagear a mesma cena em diferentes datas, o que é possível com o sensor Landsat e outros sensores orbitais. Assim, utilizando-se imagens de épocas diferentes de uma mesma região pode-se quantificar alterações temporais.

Quanto às trocas energéticas aqui são analisadas as interações entre uma determinada feição, (exemplo, floresta nativa) com os diferentes comprimentos de onda, definindo-se assim quais os melhores comprimentos de onda onde se pode fazer a sua avaliação obtendo os melhores resultados quando comparados com a verdade terrestre.

A aquisição de dados em sensoriamento remoto é realizada basicamente sobre três níveis: nível de laboratório/campo, aéreo e orbital. No primeiro nível, laboratório/campo, utiliza-se o radiômetro, que é um sensor não imageador, essencial para a aquisição de informações detalhadas sobre o comportamento espectral de um determinado objeto na superfície terrestre. No nível aéreo, os levantamentos aerofotogramétricos são os mais comuns, já no nível orbital, utilizam-se os sensores a

bordo de satélites artificiais (NOVO, 1989).

Segundo WATRIN (1994), dentre os produtos de sensoriamento remoto, aqueles oriundos de sistemas orbitais apresentam algumas vantagens sobre os demais sistemas, para o levantamento e estudo de alvos que apresentam aspectos dinâmicos, tais como feições da cobertura vegetal e uso da terra. Isso se deve principalmente ao fato que os sistemas orbitais proporcionam um constante fluxo de dados multiespectrais sobre alvos da superfície terrestre de forma repetitiva e sinóptica, a custos relativamente baixos.

Além dessas vantagens, há a possibilidade do imageamento em grande altitude proporcionando uma visão sinóptica da superfície terrestre, e o imageamento repetitivo que possibilita o monitoramento das áreas. Em aplicações mais específicas, tem sido muito utilizado para detectar poluição, tanto no ar quanto nos oceanos, estudar problemas ambientais, monitorar queimadas, prospecção de recursos minerais e levantamentos florísticos, dentre outras aplicações.

Hoje em dia, com o grande desenvolvimento do sensoriamento remoto, este se constitui numa poderosa ferramenta de coleta e tratamento de dados e informações e se apresenta como solução estratégica, tanto na caracterização ambiental como no monitoramento de grandes e pequenas áreas, principalmente com o advento de novos sensores com maior resolução espacial.

EDEN (1986), comenta que as contribuições que o sensoriamento remoto oferece ao manejo de recursos renováveis em regiões tropicais são os seguintes:

- a) Classificação e avaliação dos recursos terrestres;
- b) Mapeamento do uso da terra;
- c) Monitoramento da cobertura vegetal.

SANTOS (1994), afirma que os sensores de alta resolução (LANDSAT, ERS-1, etc.) podem oferecer informações através da análise detalhada de suas imagens sobre questões como conservação dos bosques tropicais, processo de desflorestamento,

queimada, uso agropecuário, abandono de área e conseqüentemente início da regeneração natural, sendo possível uma estimativa em área mais confiável e maior capacidade de georeferenciamento do fenômeno indicado.

### 3.1.1 Número Digital, Resolução Espacial e Definição de Imagem

Uma das características fundamentais dos sensores é o seu poder de resolução espacial, genericamente entendido como a capacidade do sistema em separar dois objetos próximos. FORSHAW *et al.* (1983), reconhecem que uma melhor resolução espacial ajuda na identificação e reconhecimento de classes menores de cobertura do terreno. Além disso, ao trabalhar com imagens de datas ou sensores diferentes pode ser necessária uma uniformização quanto à resolução espacial.

Utiliza-se geralmente o IFOV ("Instantaneous Field of View") como medida da resolução espacial dos sensores. O IFOV de um sensor é a área da cena à qual corresponde um único registro da radiância (pixel), numa ou mais faixas de comprimento de onda.

As imagens digitais podem ser obtidas por satélites, fotografias aéreas ou "scanners" aerotransportados (INPE, 1998). Estas são entendidas como uma matriz cujos elementos são os valores digitais correspondentes aos pixels organizados espacialmente e pode ser representada por uma matriz de linhas (x) e colunas (y) os quais caracterizam a posição espacial do pixel, e número digital (z) o qual pode variar do preto ao branco, representando a intensidade de energia captada pelo sensor

O valor registrado em um pixel é formado por um vetor aleatório com tantas observações quantas as bandas, variando este vetor conforme a resolução espectral de cada banda. Não só a imagem, tomada como um todo, mas também uma classe de uso da terra nela contida terão suas estatísticas características tais como a média e a variância. Segundo CRÓSTA (1992), o histograma é uma das maneiras mais importantes e úteis de se representar a distribuição dos valores digitais das imagens. O



histograma mostra estatisticamente a distribuição dos diversos níveis de cinza dos pixels de uma imagem.

Em sensoriamento remoto orbital, um grande número de dados é usado para representar uma imagem, que podem ser manipulados no formato digital, a fim de se extrair informações destas imagens. Como já comentado anteriormente, a cada ponto imageado pelos sensores, corresponde a uma área mínima denominada "pixel", que deve estar geograficamente identificado, e para o qual são registrados valores digitais relacionados à intensidade de energia refletida em faixas (bandas) bem definidas do espectro eletromagnético (INPE, 1998).

### 3.1.2 Comportamento Espectral de Alvos

Para NOVO (1989), é de fundamental importância o conhecimento do comportamento espectral dos objetos na superfície imageada, como também dos fatores que interferem nesse processo.

No comportamento espectral dos alvos são muito importantes os parâmetros relativos ao alvo, visto que a reflectância dos objetos adjacentes, podem interferir nas medidas de reflectância do objeto em si devido ao espalhamento da energia pela vizinhança, proporcionando um teor espectral diferente do que o objeto realmente possui (NOVO, 1989).

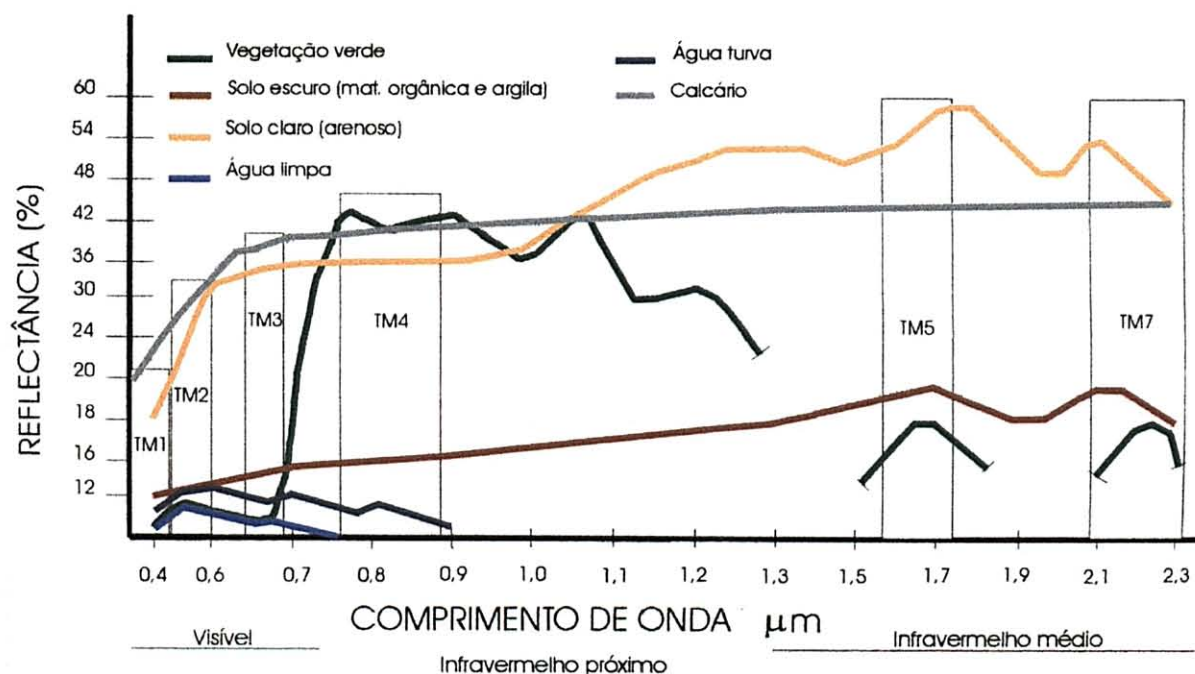
Os conceitos de uso (atual) da terra e cobertura do terreno têm sido usados indistintamente (PEREIRA, KURKDJIAN e FORESTI, 1989) quando são estudados a partir de dados de sensoriamento remoto. Entretanto deve-se considerar que um mesmo uso genérico pode dar origem a distintas formas de expressão da cobertura (diferentes níveis de cinza, por exemplo); e também que a mesma expressão da cobertura pode resultar de diferentes utilizações de uso do solo.

Para a maioria dos alvos, interessa notar que a região visível do espectro eletromagnético é uma região de baixa reflectância, se comparada com o

infravermelho. As variações de radiância registradas pelos sensores ópticos em função do comprimento de onda resultam fundamentalmente de fenômenos ao nível atômico e molecular, característicos de cada material.

A figura 1 mostra alguns exemplos de reflectância de determinados alvos importantes para a caracterização do uso e ocupação do solo. Então pela observação pode-se notar que a água limpa não reflete na região do infravermelho. Por isso, pode ser usada como referência na correção atmosférica. Na faixa do visível o seu espectro é determinado pela presença de material em suspensão ou dissolvido e da biota fotossintetizadora (algas, plâncton). Além disso, o espectro da água limpa é quase uniformemente decrescente e a água turva pode registrar um pico de reflectância na região entre o azul e o verde e ainda uma pequena reflectância no infravermelho próximo (HOFFER, 1978).

FIGURA 1 - COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ALGUNS ALVOS PARA A CARACTERIZAÇÃO DO USO DA TERRA (SIRTOLI, 1998), ADAPTADA A PARTIR DE HOFFER (1978) E SABINS<sup>1</sup> (1987)



<sup>1</sup> SABINS JR, F.F. **Remote sensing: principles and interpretation**. New York: W.H. Freeman, 1987.

### 3.1.3 Processamento digital de imagens

Por processamento digital de imagens entende-se a manipulação de uma imagem por computador de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens (INPE, 1998).

O objetivo de se usar processamento digital de imagens, é melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos.

A área de processamento digital de imagens tem atraído grande interesse nas últimas duas décadas. A evolução da tecnologia de computação digital, bem como o desenvolvimento de novos algoritmos para lidar com sinais bidimensionais está permitindo uma gama de aplicações cada vez maior (INPE, 1998).

O uso de imagens multiespectrais registradas por satélites tais como, LANDSAT, SPOT, ERS1, NOAA ou similares, têm-se mostrado como uma valiosa técnica para a extração dos dados destinados às várias aplicações de pesquisa de recursos naturais. A obtenção das informações espectrais registradas pelos sistemas nas diferentes partes do espectro eletromagnético, visando à identificação e discriminação dos alvos de interesse, depende principalmente da qualidade da representação dos dados contidos nas imagens.

### 3.1.4 Técnicas de Detecção de Alteração em Imagens Orbitais

A utilização de imagens de sensoriamento remoto orbital tem uma participação decisiva no levantamento de informações para caracterizar uma região. Por este produto ser concebido para a detecção e mapeamento de diversos aspectos da superfície terrestre é bastante indicado para a análise das mudanças ocorridas em uma região ao longo do tempo.

A detecção de alterações é definida, segundo MEDEIROS (1987), como o

reconhecimento de modificações ocorridas através do tempo sobre a superfície terrestre. Estas alterações podem ser detectadas através das técnicas de análise visual e ou digital, utilizando dados obtidos em diferentes épocas (dados multitemporais) pelos sistemas de sensoriamento remoto.

De acordo com JENSEN (1986), um método de detecção de alterações deve ser baseado em um sistema sensor que:

- a) Tenha um período sistemático entre órbitas (ex: 16 dias);
- b) Possua registro de imagens da mesma área geográfica na mesma hora do dia, para minimizar os efeitos do ângulo de incidência solar;
- c) Mantenha a mesma escala e mesmo ângulo geométrico de visada;
- d) Redução do deslocamento do relevo o máximo possível;
- e) Registro do fluxo radiante refletido em uma consistente e ampla região espectral.

Segundo CRÓSTA (1992), várias operações matemáticas simples são usadas em processamento digital de imagens de sensoriamento remoto, no sentido de analisar imagens multiespectrais (diferentes bandas espectrais de uma mesma cena) e/ou multitemporais (bandas individuais adquiridas sobre uma mesma área em diferentes datas). São normalmente utilizadas duas ou mais imagens sempre previamente co-registradas da mesma área geográfica (isto é, cada pixel das duas imagens se refere exatamente à mesma área no terreno). O *input* de uma operação desse tipo é representado então por duas ou mais imagens, o *output* é uma única imagem representando o resultado da combinação das imagens originais de acordo com alguma regra matemática, realizada pixel a pixel.

Para JENSEN (1986), as várias técnicas de detecção de mudanças desenvolvidas com o uso de imagens digitais são agrupadas em cinco modalidades: razão entre bandas, diferença entre bandas, análise dos componentes principais, classificação espectral temporal e comparação de classificações individuais.

JENSEN (1986), comenta que se deve dar a maior importância para o registro das imagens antes da aplicação de técnicas de comparação de imagens, pois diferenças no registro de duas imagens podem levar a conclusões errôneas.

Como regra geral, pode-se dizer que a adição e a multiplicação servem para realçar similaridades espectrais entre bandas ou diferentes imagens, ao passo que a subtração e a divisão servem para realçar diferenças espectrais. Dentre essas operações, a razão de bandas é provavelmente a mais utilizada, sendo de particular interesse em aplicações em geologia, agricultura e meio ambiente (CRÓSTA, 1992).

A seguir são discutidos os processos de detecção de mudanças utilizados no presente trabalho: comparação pós-classificação, análise por principais componentes, análise por principais componentes seletivas.

#### 3.1.4.1 Comparação pós-classificação

JENSEN (1986), afirma que o algoritmo de pós-classificação simplesmente compara dois mapas classificados utilizando pares de classes especificados pelo analista, sendo produzido um mapa com as indicações de áreas de mudança. Depois de codificados os resultados das classificações para as duas datas, é produzido um mapa que mostra uma matriz de alterações.

Conseqüentemente, é possível identificar não somente os pixels onde ocorreram mudanças entre as datas, mas também a natureza destas mudanças, HOWARTH e WICKWARE (1981).

MEDEIROS (1987), comenta que esta técnica é talvez a que apresenta maior fonte de erros, visto que as variações existentes nas imagens entre os valores de um dado pixel ou grupo de pixels, para os alvos que não sofreram alterações, somam-se ainda aos problemas inerentes às classificações, como por exemplo, os erros nas classificações das imagens de uma data ou de ambas as datas, por causa dos pixels não necessariamente coincidentes.

### 3.1.4.2 Análise por principais componentes (APC)

Segundo o GRUPO DE SISTEMAS INTELIGENTES, doravante denominado de GSI (2001), a análise por principais componentes, é talvez a mais tradicional e melhor técnica conhecida na análise multivariada. Foi primeiramente introduzida por PEARSON<sup>2</sup> (1901), citado por GSI (2001), que a utilizou em um contexto biológico como uma nova forma de análise de regressão linear. Então HOTELLING<sup>3</sup> (1933), citado por SINGH e HARRISON (1985) a desenvolveu para seu trabalho em psicologia educacional.

Segundo CRÓSTA (1992), a APC, também conhecida por Transformação por Principais Componentes ou Transformação de Karhunen-Loeve, é uma das funções de processamento de imagens mais poderosa na manipulação de dados multiespectrais. Ao mesmo tempo, ela é também uma das menos compreendidas e, precisamente por isso, talvez uma das mais subutilizadas das técnicas de processamento digital de imagens.

Para HUMPHREYS (1990) e GSI (2001), a APC é um método estatístico multivariado simples, que pode ser usado para compressão de dados e redução de dimensionalidade de conjuntos de dados multivariados, extração de características e projeção de dados multivariados.

Na transformação por principais componentes o número de principais componentes geradas é sempre igual ao número de variáveis contidas nos dados originais. Isto é se forem utilizadas as seis bandas do Landsat TM (1 a 5 e 7), ter-se-á como resultado seis principais componentes.

Segundo HIROSAWA, MARSH e KLIMAN (1996) e WATRIN, VALÉRIO FILHO e SANTOS (1996), a transformação por principais componentes vem sendo,

---

<sup>2</sup> PEARSON, 1901.

<sup>3</sup> HOTELLING, H. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *J. educ. Psychol*, 24, 1933 p. 417-498.

em geral, empregada para reduzir a dimensionalidade dos dados, porém, devido às suas particularidades como técnica poderosa no realce de imagens, tem motivado aplicações na área de recursos naturais e na detecção de mudanças ocorridas na cobertura do solo.

O objetivo principal da análise por principais componentes é a obtenção de um pequeno número de combinações lineares (principais componentes) de um conjunto de variáveis, que retenham o máximo possível da informação contida nas variáveis originais (GSI, 2001).

Observa-se freqüentemente que bandas individuais de uma imagem multiespectral são altamente correlacionadas, ou seja, apresentam certa similaridade numericamente. Esta correlação advém do efeito de sombras resultantes da topografia, da sobreposição das janelas espectrais entre bandas adjacentes e do próprio comportamento espectral dos objetos. A análise das bandas espectrais individuais pode ser então ineficiente devido à informação redundante presente em cada uma dessas bandas. A geração de principais componentes é uma técnica de realce que reduz ou remove esta redundância espectral, ou seja, gera um novo conjunto de imagens cujas bandas individuais apresentam informações não-disponíveis em outras bandas (INPE, 1998).

Para RICHARDS<sup>4</sup> (1984), citado por FUNG e LEDREW (1987), a transformação por principais componentes pode ser dividida em três passos:

- a) Derivação da matriz de variância-covariância;
- b) Cálculo dos autovetores;
- c) Transformação linear dos dados.

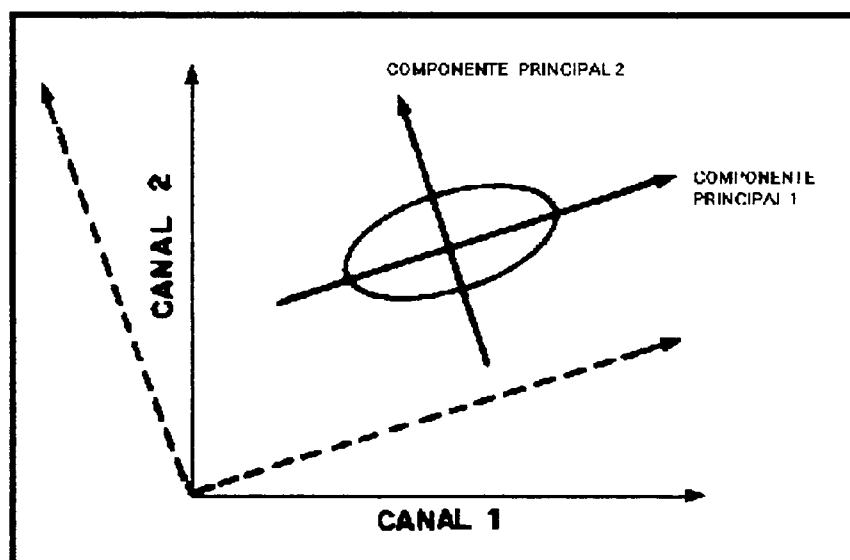
---

<sup>4</sup> RICHARDS, J.A. Thematic Mapping from Multitemporal Image Data Using the Principal Components Transformation, **Remote Sensing of Environment**, 16, 1984, p.35-46.

Segundo INPE (1998), esta transformação é derivada da matriz de covariância entre as bandas e gera um novo conjunto de imagens onde cada valor de "pixel" é uma combinação linear dos valores originais. O número de principais componentes é igual ao número de bandas espectrais utilizadas e são ordenadas de acordo com o decréscimo da variância de nível de cinza. A primeira principal componente tem a maior variância (maior contraste) e a última, a menor variância.

A figura 2 mostra que a transformação de principal componente em duas dimensões corresponde à rotação do eixo original da coordenada para coincidir com as direções de máxima e mínima variância no dado. Neste processo utiliza-se o coeficiente de correlação ou de covariância para se determinar um conjunto de quantidades chamadas de autovalores.

FIGURA 2 -ESQUEMA BIDIMENSIONAL DA TRANSFORMAÇÃO POR PRINCIPAL COMPONENTE (INPE, 1998)



Os autovalores representam o comprimento dos eixos das componentes principais de uma imagem e são medidos em unidade de variância. Associado a cada autovalor existe um vetor de módulo unitário chamado autovetor. Os autovetores representam as direções dos eixos das componentes principais. São fatores de ponderação que definem a contribuição de cada banda original para uma componente



principal, numa combinação aditiva e linear (INPE, 1998, CRÓSTA, 1992).

Para facilitar a percepção dessas contribuições, deve-se transformar os autovetores em porcentagens. Sabendo-se o sinal de cada coeficiente do autovetor, pode-se comparar as porcentagens com as curvas espectrais de materiais conhecidos (por exemplo, vegetação, água, diferentes tipos de solo), determinando-se assim em qual(is) componente(s) principal(is) a informação espectral desejada estará mais concentrada.

As imagens de principais componentes podem ser combinadas em cores, como quaisquer outras. Quando comparada com qualquer combinação de canais originais, a composição colorida das principais componentes apresenta um realce na distribuição das cores, uma vez que não há correlação entre as bandas. Uma composição colorida de imagem de principais componentes tende a apresentar apenas cores espectrais puras e intensamente saturadas, não apresentando tons de cinza, o que indicaria correlação (INPE, 1998).

Para FUNG e LEDREW (1987), não se reconhece a exata natureza das principais componentes sem um exame da autoestrutura e inspeção visual das imagens resultantes. Assim, embora seja poderosa técnica de redução de dados, está só deve ser usada com uma compreensão completa das características da área de estudo para evitar qualquer conclusão deficiente. Também LEE, SHIMABUKURO e HERNANDEZ FILHO (1990), salientam que embora a análise por principais componentes seja uma técnica poderosa no realce e redução de dados multiespectrais, deve ser usada somente com um bom conhecimento das características da área de estudos para evitar conclusões errôneas.

Dentre os principais objetivos da análise por principais componentes GSI (2001) cita:

- a) Redução de dimensões;
- b) Determinação de combinações lineares de variáveis;
- c) Seleção de fatores: escolha de variáveis mais úteis;

- d) Visualização de dados multidimensionais;
- e) Identificação de variáveis ocultas;
- f) Identificação de grupos de objetos.

HUMPHREYS (1990) comenta que as técnicas de estatística multivariada são, na realidade, uma “arma” que o técnico faz uso para que seu trabalho de processamento digital de imagens seja facilitado, sendo que a sua utilização não dispensa o uso da imagem propriamente dita. Para JENSEN (1986), a análise por principais componentes na detecção de alterações surgiu como uma técnica promissora envolvendo pré-processamento de imagens.

JIAJU (1988) e CHAVEZ e MACKINNON (1994), utilizaram a APC para a detecção de mudanças porque esta realçou a informação dinâmica entre as datas e possibilitou obter resultados sem a necessidade de calibrações e correções atmosféricas.

FUNG e LEDREW (1987), em seu trabalho confirmam que as principais componentes secundárias podem detectar mudanças na cobertura da terra, também que o uso de principais componentes padronizadas, calculadas através dos autovetores da matriz de correlação, promovem maior precisão sobre as informações de mudanças do que as principais componentes não-padronizadas, derivadas da matriz de covariância.

EASTMAN e FULK (1993) concluíram que a APC padronizadas parece ser uma ferramenta notavelmente ampla para a análise de anomalias e tendências em dados multitemporais. Também são muito boas para o isolamento de efeitos sazonais periódicos, assim como, no isolamento de tendências e eventos anômalos isolados.

MUCHONEY e HAACK (1994), monitorando desfolhamento em florestas, concluíram que a APC e a técnica de imagem diferença, ofereceram o melhor potencial para conseguir fidedignamente mapear estas áreas.

A APC também pode ser utilizada para integrar a informação de imagens de duas datas e na preparação dos dados para posteriores análises e processamentos digitais.

### 3.1.4.3 Análise por principais componentes seletivas (APCS)

A APC possui diferentes usos no sensoriamento remoto, sendo que a seleção das bandas necessárias é feita em função dos objetivos pretendidos. Nos estudos de detecção de mudanças, pode-se trabalhar somente com duas imagens de duas épocas distintas e da mesma faixa espectral de interesse. Desta forma, segundo MALDONADO (1999), a segunda componente principal contém a informação sobre as mudanças que são discriminadas na respectiva faixa espectral. Esta técnica também é conhecida com Análise de Principais Componentes Seletivas (APCS).

A APCS trabalha com a mesma faixa espectral para duas datas distintas, sendo que desta forma, a primeira principal componente conterá as informações comuns as duas épocas e a segunda principal componentes conterá a informação das mudanças ocorridas na paisagem discriminadas pela faixa espectral utilizada (CHAVEZ e KWARTENG, 1989).

De acordo com RICHARDS (1993), a utilização da APC explora a correlação das bandas de imagens multitemporais de regiões que sofreram modificações substanciais na paisagem.

Segundo MALDONADO (1999), uma das maiores vantagens desta técnica, é a eliminação da maior parte das diferenças de baixas frequências do conjunto da imagem, realizando automaticamente uma calibragem relativa entre imagens. Esta calibração acontece porque os coeficientes multiplicativos e aditivos calculados pelos autovetores mudam os dados da imagem para um novo sistema de coordenadas, removendo assim a maioria das diferenças de baixas frequências entre as imagens. A maior parte destas diferenças de baixa frequência, entre imagens multitemporais, são diferenças atmosféricas ou de calibração do sensor (CHAVEZ e MACKINNON, 1994, JIAJU, 1988).

Para CHAVEZ e MACKINNON (1994), o uso da APCS em imagens não calibradas permitiu a detecção automática das mudanças ocorridas na vegetação do

sudoeste dos Estados Unidos, e a sua vantagem na detecção de mudanças, é que esta pode ser usada com dados não calibrados, porque ela automaticamente aplica uma calibração de primeira ordem relativa a imagem.

MALDONADO (1999) utilizando a técnica da APCS, concluiu que esta se demonstrou adequada para a detecção de mudanças na vegetação da caatinga e no uso da terra, com acurácia de 68 %, sem a necessária utilização de dispendiosos processamentos digitais.

SIRTOLI (1998), concluiu que a detecção de mudanças da cobertura/uso da terra através da utilização da APCS apresentou melhores resultados no delineamento das áreas de mudanças, quando comparada à subtração simples de bandas, oferecendo ainda a vantagem de dispensar o pré-processamento para correção radiométrica para o período e datas consideradas.

CARRILHO, SOARES e VALÉRIO FILHO (1996), utilizando a APCS concluíram que as estimativas de proporções marginais verdadeiras de mudança e não mudanças obtidas são cerca de 32 % e 68 %, respectivamente.

Com a aplicação da APCS necessita-se fazer a escolha de limiares de mudanças para poder avaliar as mudanças ocorridas na região CARRILHO, SOARES e VALÉRIO FILHO (1996), SIRTOLI (1998) e MALDONADO (1999).

### 3.2 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

O nome Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é muito utilizado e em muitos casos é confundido com geoprocessamento. O geoprocessamento é o conceito mais abrangente e representa qualquer tipo de processamento de dados georeferenciados, enquanto um SIG processa dados gráficos e não gráficos com ênfase a análises espaciais e modelagens de superfícies.

Segundo MENEGUETTE (2001), para melhor compreender o que se tem definido como Sistema de Informações Geográficas (SIG), deve-se conhecer as

definições de sistema, informação geográfica e sistema de informação, as quais são:

- a) Sistema como sendo “conjunto ou arranjo de elementos relacionados de tal maneira a formar uma unidade ou um todo organizado, que se insere em um sistema mais amplo”;
- b) Informação geográfica como “conjunto de dados ou valores que podem ser apresentados em forma gráfica, numérica ou alfanumérica, e cujo significado contém associações ou relações de natureza espacial”;
- c) Sistema de informação como “conjunto de elementos inter-relacionados que visam a coleta, entrada, armazenamento, tratamento, análise e provisão de informações”.

A necessidade de integração de informações de diferentes fontes é cada vez mais necessária, visto que somente a partir desta integração é que os usuários finais obterão informações mais confiáveis quanto à tomada de decisão.

Segundo CÂMARA e MEDEIROS (1998a), um SIG armazena a geometria e os atributos dos dados que estão georeferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e numa projeção cartográfica qualquer. Os dados tratados em geoprocessamento têm como principal característica a diversidade de fontes geradoras e de formatos apresentados.

Uma das principais vantagens da utilização de um SIG é a possibilidade de fazer simulações, o que pode ser definido como análise espacial, a qual resume-se em fazer comparações entre diferentes mapas ou entre diferentes situações simuladas ou não. A seguir algumas definições de SIG, citadas por INPE (1998) e CÂMARA e MEDEIROS (1998a) e seus respectivos autores:

- a) “Um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados

para armazenar e manipular dados georeferenciados” (ARONOFF<sup>5</sup>, 1989).

- b) “Conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real” (BURROUGH, 1986).
- c) “Um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas” (COWEN<sup>6</sup>, 1988).
- d) “Um banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder a consultas sobre entidades espaciais” (SMITH<sup>7</sup>, *et al.*, 1987).

Com estas definições de SIG, pode-se notar que cada uma de maneira distinta reflete a multiplicidade de usos e visões possíveis e aponta para uma perspectiva interdisciplinar de sua aplicação e utilização.

### 3.2.1 Análise Espacial

Com os Sistemas de Informação Geográfica pode-se realizar operações sobre mapas a partir de sobreposição de informações, perguntas realizadas ao sistema, análise de redes, modelagem cartográfica, etc., resultando em sínteses para o entendimento da realidade.

---

<sup>5</sup> ARONOFF, S. **Geographical information systems: a management perspective**. Ottawa: WDI, 1989.

<sup>6</sup> COWEN, D.J. GIS v ersus CAD versus DBMS: what are the differences? **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, p.1551-1554, 1988.

<sup>7</sup> SMITH, T.; MENON, S.; STAR, J.; ESTES, J. Requirements of an expert object-oriented geographic information system. In: International Conference on Information and Knowledge Management- CIKM, 2, 1993. **Proceedings...** (S.l.: s.n.), p. 537-546.

Segundo CÂMARA e MEDEIROS (1998b), o que distingue um SIG de outros tipos de sistemas de informações são as funções que realizam as análises espaciais. Tais funções utilizam os atributos espaciais e não-espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados espaciais e buscam fazer simulações (modelos) sobre os fenômenos do mundo real, seus aspectos ou parâmetros.

A possibilidade de combinar informação cartográfica e tabular, bem como embutir conhecimento específico e/ou subjetivo em uma análise, torna o SIG uma ferramenta especialmente útil para fins de planejamento regional. Para estas combinações de dados pode-se citar as operações matemáticas como fundamentais neste processo, sendo que neste trabalho utilizou-se a subtração e a multiplicação para fazer as combinações necessárias.

### 3.2.2 Avaliação do Desempenho das Classificações

Para LILLESAND e KIEFER (1979), não existe uma metodologia simples e única para determinar a acurácia de uma classificação. No presente trabalho foram utilizados dois métodos de avaliação da classificação, sendo eles, acurácia total e índice Kappa.

A acurácia total é obtida a partir da matriz de confusão, sendo que o valor da acurácia total é calculado pela divisão da soma dos elementos da diagonal principal da matriz, ou seja, o número de classificações correta, pelo número total de pixels das amostras utilizadas para a classificação.

$$acurácia\_total = \frac{X_{ji}}{N} * 100$$

Onde:  $X_{ji}$  = diagonal principal da matriz

$N$  = número total de pixels na matriz

Já o coeficiente Kappa, desenvolvido por COHEN (1960), é uma outra forma de expressar a acurácia da classificação. Este avalia a concordância de resultados da classificação com sua informação de referência obtida pelo mapa, trabalho de campo, fotografias aéreas ou por outros modos.

Após estas verificações, uma matriz de erro pode ser construída para avaliar o desempenho de sua classificação e ao contrário da acurácia total, este coeficiente utiliza todos os elementos da matriz para o seu cálculo e é recomendado como o método padrão na avaliação da acurácia temática (CHEN, 1996).

$$Kappa = \frac{N * X_{ji} - X_j * X_i}{N^2 - X_j * X_i}$$

Onde: N = número total de pixels na matriz

$X_{ij}$  = diagonal principal da matriz

$X_j$  = soma de todas as linhas da coluna  $j$

$X_i$  = soma de todas as colunas da linha  $i$

Segundo COHEN (1960), a estatística Kappa é um índice que fornece as seguintes informações:

- a) Se a classificação é 100% correta, então  $Kappa = 1$ ;
- b) Se a proporção observada é maior que a proporção esperada,  $Kappa > 0$ ;
- c) Se a proporção observada é igual à proporção esperada,  $Kappa = 0$ ;
- d) Se a proporção observada é menor que a proporção esperada,  $Kappa < 0$ .

Segundo UEBERSAX (2000), a estatística Kappa apresenta aspectos a positivos e negativos sendo alguns apresentados a seguir:

- a) Pontos positivos da estatística Kappa:
- b) Facilidade de cálculo;
- c) Adequada para testar se as concordâncias excedem níveis de chance para avaliações binárias e nominais.



Pontos negativos da estatística Kappa:

- a) Não faz distinções entre vários tipos e fontes de discordância;
- b) Os valores de Kappa podem ser baixos, embora possam ocorrer altos níveis de concordância e avaliações individuais precisas.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

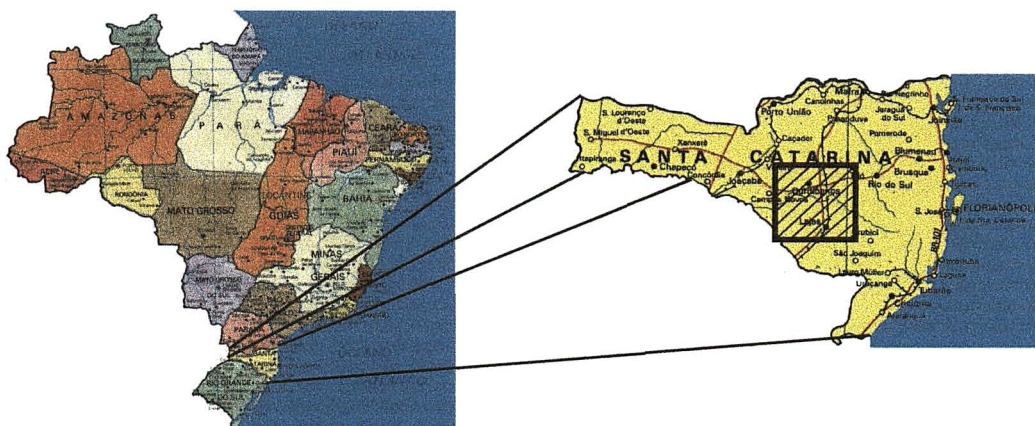
### 4.1 MATERIAIS

#### 4.1.1 Área de Estudo

A área de estudo localiza-se entre as seguintes coordenadas: 27°00' a 28°00' S e de 50°00' a 51°00' W, no estado de Santa Catarina, com área aproximada 1.100.000 ha (fig. 3). Segundo a classificação do IBGE, esta região naturalmente apresenta as seguintes formações vegetais, Estepe (Campos), Floresta Ombrófila Mista (Floresta de Araucária). Atualmente a região apresenta resquícios de Floresta Ombrófila Mista, grandes áreas de Estepe, áreas de uso agropecuário, e também grandes maciços florestais implantados, principalmente de *Pinus* spp.

O clima segundo Köppen é Cfa, mesotérmico úmido, com precipitação média anual entre 1300 a 1950mm bem distribuída durante todos os meses do ano. As principais classes de solos da região segundo ANEEL (2000) são, Cambissolos, Latossolos, Nitossolos e Argissolos. A região é cortada por significativa malha viária, BR 116, BR 282, BR 470, BR 475, SC 22, SC 42, SC 43, SC 44, SC 45, SC 46, SC 68, as quais fazem as ligações principais com as seguintes cidades: Lages, Correia Pinto, Ponte Alta, Campo Belo do Sul, Curitibanos e Fraiburgo.

FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS



#### 4.1.2 Produtos Orbitais

Na presente pesquisa foram utilizadas duas imagens Landsat 5 TM, de órbita 221 ponto 79, adquiridos em 20 de outubro de 1986 e 01 de julho de 1997, sendo que ambas apresentavam as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 em formato digital.

#### 4.1.3 Produtos Cartográficos

As quatro cartas topográficas do IBGE, em escala 1:100.000, denominadas: Curitiba, Ponte Alta, Campo Belo do Sul e Lages, foram utilizadas como base cartográfica, dessas cartas as seguintes informações foram vetorizadas: rede de drenagem, malha viária, cidades.

#### 4.1.4 Softwares e Hardwares Utilizados

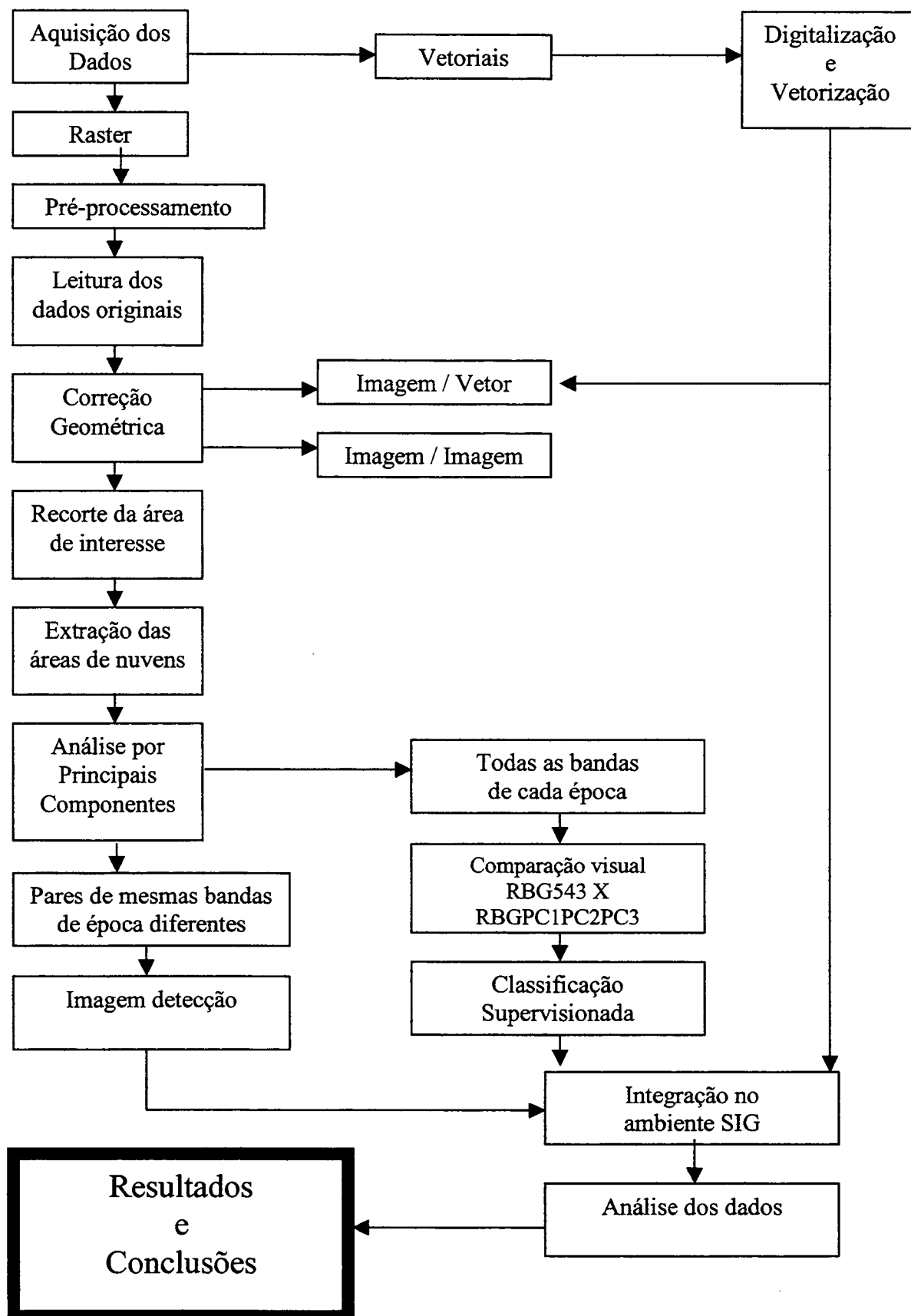
O hardware utilizado para o processamento dos dados sensoriais e integração de informações, foi um microcomputador Intel Pentium II, 300Mhz, 128Mb RAM e com HD de 30GB para o processamento, HP CD-WRITER 9100 series para “backup” dos dados gerados e impressora Xerox DocuPrint C20.

Os softwares utilizados foram Microstation 5.00.95, MGE Advanced Image 6.0, Arcview GIS 3.1, 3D Analyst e Spatial Analyst.

### 4.2 MÉTODOS

A metodologia utilizada na presente pesquisa é mostrada resumidamente em um fluxograma (fig. 4).

FIGURA 4 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DA PESQUISA



#### 4.2.1 Digitalização e Vetorização dos Dados

A vetorização dos dados mencionados anteriormente foi efetuada através do software Microstation com auxílio do MGE Advanced Image observando-se o mapa no monitor de computador e fazendo-se a sua vetorização. Todas as vetorizações foram feitas utilizando-se as ferramentas manuais do software.

Para tanto se fez o escaneamento das quatro (04) cartas topográficas anteriormente citadas e posteriormente o seu georeferenciamento, utilizando-se um polinômio de 2º grau, e reamostragem por vizinho mais próximo.

GUIMARÃES FILHO e CRÓSTA (1993) já comentavam que a vetorização de mapas utilizando estes em formato digital tem ganho espaço, permitindo que o processo de vetorização torne-se cada vez mais rápido e preciso, pois tal processo individualiza as entidades do mapa original e possibilita sua posterior edição.

Para organizar o processo de vetorização das informações necessárias foram definidos inicialmente os níveis onde cada informação seria vetorizada, visando principalmente à agilização dos processos futuros de impressão e processamentos a serem executados no Sistema de Informação Geográfica.

#### 4.2.2 Imagens do Landsat 5 TM

As imagens de satélite foram adquiridas junto a Divisão de Geração de Imagens (DGI) do INPE. Como a imagem de 1997 foi adquirida antes da imagem de 1986, ambos os produtos vieram em formatos diferentes. As bandas de 1997 estavam gravadas em formato DAT, e as de 1986 em formato TIFF.

Devido a problemas de cobertura de nuvens, a imagem de 1986 teve que ser adquirida na passagem de 20 de outubro de 1986, porém o ideal teria sido a mesma data da cena de 1997, isto é, 1º de julho de 1997. Contudo isto não inviabilizou a pesquisa, pois a região de estudos apresenta uma precipitação praticamente bem

distribuída durante todos os meses do ano, ficando em torno de 150mm todos os meses.

Na tabela 1 são mostradas as precipitações ocorridas na região de estudos 10 dias antes e no dia da obtenção de cada uma das imagens de satélite. Como se pode observar, para nenhuma das datas de aquisição das imagens ocorreu precipitação no dia antecessor a sua obtenção, e a soma das precipitações anteriores é de 41,6 para o período considerado de 1986 e de 35,4 para 1997.

TABELA 1 - PRECIPITAÇÃO OCORRIDA NA REGIÃO DE ESTUDOS NOS DIAS QUE ANTECEDERAM A OBTENÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE

1986		1997	
Dia	Precipitação (mm)	Dia	Precipitação (mm)
10 - outubro	18,8	21 - junho	0,0
11 - outubro	2,4	22 - junho	0,4
12 - outubro	0,4	23 - junho	0,0
13 - outubro	0,0	24 - junho	0,0
14 - outubro	0,0	25 - junho	0,0
15 - outubro	0,0	26 - junho	35,0
16 - outubro	0,0	27 - junho	0,0
17 - outubro	6,0	28 - junho	0,0
18 - outubro	14,0	29 - junho	0,0
19 - outubro	0,0	30 - junho	0,0
20 - outubro	0,0	1 - julho	0,0
<b>TOTAL</b>	<b>41,6</b>	<b>Total</b>	<b>35,4</b>

FONTE: FLEITH, 2001

#### 4.2.3 Pré-processamento das imagens Landsat 5 TM

O pré-processamento envolveu as seguintes etapas:

- a) Leitura dos dados digitais gravados em cd-rom, visando avaliar a integridade dos mesmos e transferi-los para o disco rígido do computador para início do trabalho;
- b) O registro da imagem em relação à base cartográfica e o registro da imagem para imagem, possibilitou a comparação dos produtos de ambas às datas;
- c) Recorte na imagem original da área de interesse para a pesquisa, visto que não correspondia à área total da imagem original;

- d) Recorte de duas regiões que apresentavam nuvens, sendo que estas estavam localizadas nas bordas da área de interesse, a qual se fez cortando-se esta área em ambas as imagens;
- e) Execução da APC de cada época, utilizando-se as seis bandas espectrais disponíveis para cada época;
- f) Classificação supervisionada das duas datas, usando-se as três primeiras principais componentes;
- g) Execução da APC seletivas, utilizando-se todos os pares de bandas disponíveis;
- h) Definição do limiar de mudanças a ser utilizado com as APCS;
- i) Integração dos produtos em ambiente SIG.

#### 4.2.3.1 Leitura dos dados originais

A primeira etapa a ser executada foi a aquisição dos dados Landsat 5 TM, e a sua adequação para o padrão de leitura dos softwares utilizados na pesquisa.

#### 4.2.3.2 Registro das imagens

Inicialmente fez-se o registro da imagem de 1997 a partir da carta topográfica em escala 1:100.000, anteriormente vetorizada. Inicialmente foram coletados 85 pontos de controle os quais foram então refinados, restando no final 37 pontos de controle.

Restava ainda a correção geométrica de imagem para imagem o que possibilitaria a comparação automática dos produtos gerados, para tal foram coletados 60 pontos de controle dos quais restaram 28 após o refinamento.

Em ambas as correções geométricas utilizaram-se um polinômio de 2º grau e a reamostragem pelo método do vizinho mais próximo visto este não alterar os valores digitais originais dos pixels.

#### 4.2.3.3 Recorte da área de interesse da imagem

Depois de efetuado o registro das imagens de ambas das épocas foi feito o recorte da área de interesse para a pesquisa, a qual estava compreendida entre as coordenadas: 27°00' a 28°00' S e de 50°00' a 51°00' W.

#### 4.2.3.4 Recorte das regiões com nuvens da área de interesse

Com as imagens já recortadas pode-se notar com maior clareza que na área de interesse para a pesquisa havia duas regiões periféricas onde ocorriam concentrações de nuvens na imagem de 1997, o mesmo não ocorrendo da imagem de 1986.

A ocorrência de nebulosidade durante o imageamento da cena incorpora na imagem, uma série de elementos que são independentes à cena imageada, os quais devem ser extraídos para posterior processamentos.

Optou-se então por recortar as regiões com ocorrência de nuvens tanto na imagem de 1997 como de 1986, a qual não apresentava nuvens, visto que nesta área não seria possível fazer a comparação multitemporal.

#### 4.2.3.5 Análise de principais componentes para cada época

Inicialmente foi executada a APC para cada uma das épocas utilizando-se todas as seis bandas do espectro refletido do sensor TM (TM1 a 5 e 7), visando assim à obtenção de um menor conjunto de bandas, sem nenhuma redundância de informações. Desta forma fica concentrada a quase totalidade da variância das imagens originais (SINGH e HARRISON, 1985), sendo que com as três primeiras seria feita mais tarde a classificação supervisionada para ambas as datas.

No software Advanced Image, esta rotina já vem pronta e envolve duas etapas distintas, a primeira a análise dos dados e a segunda a geração das imagens



resultantes desta análise, a seguir descritas.

No software Advanced Image para acessar estas etapas deve-se proceder dos seguintes comandos: na janela principal abrir o menu **spectral**, seguindo-se do menu **principal components**, no qual existe a opção **analysis** e **image**, os quais se referem a primeira e segunda etapa da APC, respectivamente.

No menu **analysis** é pedido ao usuário que forneça as bandas a serem analisadas e o nome do arquivo onde será guardada tal análise. E no menu **image** o usuário deve informar novamente as bandas a serem utilizadas e também o nome do arquivo gerado anteriormente na análise. As bandas selecionadas para a geração das principais componentes devem ser as mesmas que foram utilizadas para a análise.

Depois de executadas estas etapas, são criadas no disco rígido tantas principais componentes (PC) quantas as imagens analisadas, isto é, se foram utilizadas 6 bandas para gerar as PC teremos gravadas no disco rígido 6 novas imagens (principais componentes) geradas.

#### 4.2.3.6 Comparação de uma composição colorida utilizando as bandas originais com uma composição colorida utilizando as principais componentes

Com a finalidade de demonstrar as diferenças entre uma composição colorida efetuada com as bandas originais e uma composição colorida efetuada a partir das três primeiras principais componentes, foi feita a comparação visual destas.

Para a composição colorida das bandas originais foram utilizadas as bandas 5, 4 e 3 (RGB) do Landsat 5 TM, devido a estas serem de utilização comum para a classificação supervisionada de imagens por diversos autores, dentre eles: HERNANDEZ FILHO e FARIA (1990); MEDEIROS e AMARO (1990); AZEVEDO et al. (1993).

Esta etapa da pesquisa visa verificar as diferenças visuais possíveis de serem encontradas quando se utilizam composições coloridas formadas por principais

componentes. Esta etapa visou auxiliar na posterior definição das amostras de treinamento.

#### 4.2.3.7 Classificação supervisionada

O software utilizado permitia utilizar diversos tipos de classificações, inclusive a supervisionada. Optou-se por ela, em função de um conhecimento prévio da área de estudos.

Objetivou-se com esta a separação do maior número de classes possíveis para a região, limitando-se é claro à resolução espacial dos dados utilizados. Para o processamento das classificações, foi utilizado o algoritmo de mínima distância, segundo JENSEN (1986) um dos mais utilizados, onde as amostras de treinamento correspondentes a cada uma das classes são utilizadas para o cálculo de um vetor de médias, para cada uma das bandas utilizadas.

Segundo LAPOLLI, ALVES e BARCIA (1993), para classificar um pixel em determinada classe calcula-se a distância euclidiana entre o pixel e o vetor de médias de cada uma das classes, a regra de visão é: o pixel “x” é classificado na classe de cujo vetor de *média apresenta a menor distância*. Porém para evitar que pixels muito distantes sejam classificados em determinada classe define-se um limiar além do qual o pixel não será atribuído a nenhuma classe. Assim estes pixels são classificados como nulos.

Segundo JENSEN (1986) para calcular-se a distância euclidiana de um ponto *a*, em relação à média da *classe c* medidas nas bandas *k* e *l* usa-se a seguinte equação:

$$Dist = \sqrt{(BV_{ijk} - \mu_{ck})^2 + (BV_{ijl} - \mu_{cl})^2}$$

Onde:  $\mu_{ck}$  e  $\mu_{cl}$  representam a média dos vetores da *classe*  $c$  para as bandas  $k$  e  $l$ .

$BV_{ijk}$  e  $BV_{ijl}$  representam os valores de brilho do ponto  $a$  nas bandas  $k$  e  $l$ .

Para iniciar a classificação supervisionada faz-se necessário estabelecer amostras de treinamento, a partir destas é que o software classifica toda a imagem posteriormente.

A escolha das amostras de treinamento bem como a etapa da classificação foram feitas sobre as três primeiras principais componentes para cada época. Na escolha das amostras de treinamento muitas vezes confirmou-se a classe a qual pertencia determinada amostra utilizando-se uma composição colorida das bandas originais, isto em razão de que as cores de uma composição colorida utilizando-se as principais componentes, não são as mesmas cores geradas a partir de uma composição colorida de bandas originais.

Após uma primeira etapa de execução da classificação supervisionada para a imagem de 1997, foi executado um trabalho de campo o qual tinha como propósito avaliar preliminarmente esta classificação, sendo que para tal trabalho, utilizou-se um receptor GPS Garmin 12 e foram coletados pontos em diferentes locais, abrangendo-se as diferentes classes classificadas. De posse destes pontos de controle fez-se uma checagem na classificação, procurando melhorar o nível de estratificação temática.

Assim com base na classificação da imagem de 1997 partiu-se para a classificação supervisionada da imagem de 1986. Ambas as classificações foram importadas para o ambiente de SIG e a partir destas gerou-se uma imagem temática de diferença, a qual serviu para a avaliação da APCS.

#### 4.2.3.8 Análise de principais componentes seletivas (APCS)

A APCS foi o segundo método de detecção de mudanças utilizado. Para tal aplicou-se a APC para pares de mesmas bandas de épocas diferentes, gerando 2 principais componentes para cada uma das seis bandas espectrais disponíveis. Nesta parte da pesquisa desprezou-se a primeira principal componente de todas as 6 bandas, sendo que foram analisadas somente as segundas principais componentes.

A rejeição da primeira principal componente deve-se ao fato de estar associada ao eixo de maior correlação, o qual se admite ser representativo das feições comuns entre as duas épocas (CRÓSTA, 1992), já a segunda principal componente apresenta feições com baixa correlação entre as épocas, isto é, correspondentes às mudanças ocorridas no período.

Com a utilização da APCS para a caracterização de mudanças são necessários cuidados na interpretação das componentes resultantes, pois os escores destas componentes não preservam significados físicos. Utilizando-se a APCS não é possível qualificar os tipos de mudanças ocorridos, pois, segundo SIRTOLI (1998), em uma única banda, uma mesma intensidade de mudança pode ocorrer com dois pares diferentes de representação temática de uso da terra.

#### 4.2.3.9 Limiares de mudanças para a análise das principais componentes seletivas

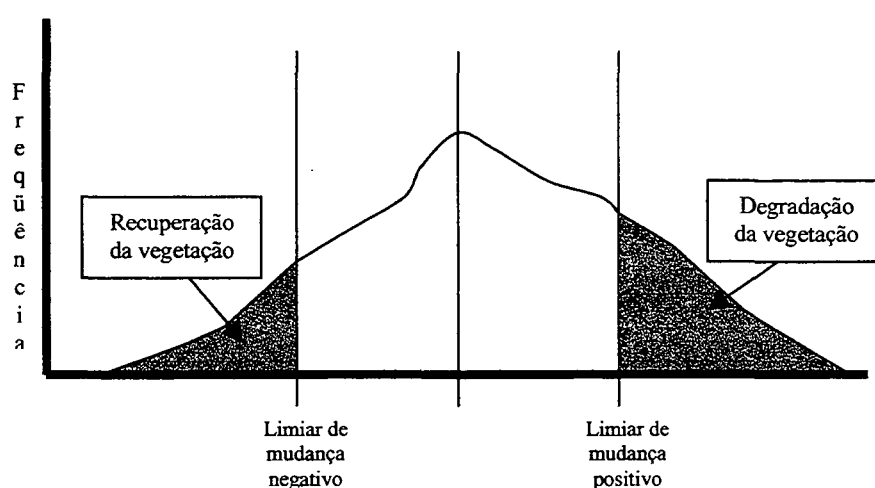
Depois de geradas as APCS para todas as bandas, obteve-se a estatística básica para cada uma das segundas principais componentes, sendo que é a partir desta, que serão aplicados os diferentes limiares de mudança.

Os “pixels” que se apresentassem além do desvio padrão (limiar de mudança) considerado representaram as mudanças ocorridas no terreno, sendo à direita mudanças ocorridas no sentido de perda/degradação da vegetação e à esquerda ganho/recuperação da vegetação (fig. 5). Entretanto neste trabalho optou-se pela

utilização dos termos “recuperação” e “degradação” da vegetação conforme o utilizado por MALDONADO (1999).

Após esta aplicação dos limiares de mudanças as imagens foram importadas no ambiente de SIG e comparadas com a diferença das classificações de ambas as épocas.

FIGURA 5 - ESQUEMA DE HISTOGRAMA MOSTRANDO OS PIXELS DE MUDANÇAS CONSIDERADOS APÓS A APLICAÇÃO DO LIMAR DE MUDANÇA (MODIFICADO DE MALDONADO, 1999)



#### 4.2.3.10 Integração no ambiente de SIG

A integração, dos resultados das classificações e da APCS, em um ambiente de SIG foi feita para efetuar os processos de cruzamentos dos dados, os quais são bastante facilitados, visto que esta função de cruzar informações é uma característica do SIG.

Utilizou-se o SIG Arcview 3.1 GIS, pela sua facilidade de uso e por este estar disponível no Laboratório de Sensoriamento Remoto e SIG no curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPR.

Neste software trabalha-se com planos de informação, definidos pelo software como “shapefiles”, sendo que para a execução da presente dissertação, foram criados “shapefiles” com todos os dados provenientes da classificação supervisionada e também da APCS, com os quais foram feitos os cruzamentos necessários.

Para a comparação das duas classificações atribuíram-se pesos (tab. 2) a cada uma das classes mapeadas. Estes pesos foram atribuídos de maneira tal que o valor da diferença dos pesos de duas classes distintas nunca se tornasse igual ao valor de nenhuma das classes mapeadas. Iniciou-se pela classe “nulos” atribuindo-lhe o peso 10, para as demais classes o valor do peso foi atribuído duplicando-se o peso da classe anterior e somando-se dez (10). Então, por exemplo, para se calcular o peso da classe “reflorestamento” utilizou-se o peso da classe anterior, “campo”, que é 1270. Então se duplica este valor chegando-se a 2540, e finalmente soma-se 10 e chega-se ao peso 2550 valor utilizado. Assim foi feito para todas as demais classes, iniciando-se pela classe “nuvem”.

TABELA 2 - PESOS ATRIBUÍDOS AS DIFERENTES CLASSES NA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

Classe	Peso
Nulos	10
Nuvem	30
Água	70
Solo	150
Cidade	310
Floresta nativa	630
Campo	1270
Reflorestamento	2550
Capoeira	5110
Sombra	10230

Através de uma diferença entre as duas classificações, verificaram-se as regiões onde ocorreram as mudanças na paisagem. Todas as regiões que apresentaram a diferença igual a zero (0), foram consideradas como não apresentando mudanças na paisagem durante o período analisado, e as regiões com valores diferentes de zero (0) representavam as regiões em que ocorreram as mudanças.

A comparação com a APCS foi executada utilizando-se pesos também para as regiões com mudanças e sem mudanças, avaliando assim se o resultado conseguido com a APCS confirmava o obtido através da diferença das classificações, o que pode ser considerado como uma “verdade de campo”. Aqui se utilizaram pesos

para diferenciar se a região era de recuperação, sem mudança ou degradação, sendo estes pesos 1, 2 e 3 respectivamente.

Com a APCS foram consideradas as mudanças quanto à degradação e recuperação da vegetação. Porém, analisando-se as classificações supervisionadas de ambas as datas, foi possível definir quais foram as mudanças ocorridas na região com maiores detalhes, para tanto se utilizou a “imagem diferença” gerada no SIG.

No presente trabalho utilizou-se a análise espacial definida por CÂMARA e MEDEIROS (1998b) como “operações matemáticas”, pois os cruzamentos foram gerados a partir de dois planos de informação distintos onde cada um destes planos apresentava valores referentes as suas propriedades e então a partir de uma simples subtração ou multiplicação destes dados obtinha-se o resultado. E a partir deste resultado foram feitas as comparações visando qualificar e quantificar cada uma das diferenças testadas.

#### 4.2.3.11 Trabalho de campo

Para VENTURIERI, FUNAKI e MEDEIROS (1990), o objetivo do trabalho de campo é o estabelecimento das classes de uso da terra e cobertura vegetal presentes na área de estudo, através da visita de alguns locais selecionados na imagem.

Por se ter um conhecimento prévio da região de estudos o trabalho de campo somente foi realizado depois de efetuada a classificação supervisionada preliminar. O trabalho de campo foi apoiado com o auxílio de um GPS nos pontos representativos das classes existente na região.

Juntamente com a verificação de campo foram tomadas fotografias terrestres para registro e para servir de material de apoio na refinação da classificação.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 VETORIZAÇÃO DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS

Com a vetorização das quatro cartas topográficas foi criado um arquivo contendo a planimetria da área de estudos. Este arquivo foi utilizado para a correção geométrica das imagens comentada mais à frente.

Como mencionada anteriormente cada tipo de informação planimétrica obtidas das cartas topográficas foi vetorizada em um nível diferente, visando facilitar o manuseio destes dados. A tabela 3 apresenta estes níveis de informação e os seus respectivos conteúdos podendo-se também verificar o resultado desta vetorização no anexo 1.

TABELA 3 - NÍVEIS DE INFORMAÇÃO E O SEU CONTEÚDO

Nível	Informação
1	Estradas e Rodovias
2	Rios e córregos
3	Estrada projetada
4	Ferrovia

### 5.2 PRÉ-PROCESSAMENTO DAS IMAGENS ORIGINAIS

O pré-processamento das imagens originais envolveu as etapas descritas anteriormente, dentre elas: leitura dos dados originais e registro das imagens.

#### 5.2.1 Leitura dos Dados Originais

Como a imagem de 1997 foi adquirida antes da imagem de 1986, ambos os produtos vieram em formatos diferentes. As bandas de 1997 estavam gravadas no CD-ROM em formato INPE, e as de 1986 em formato TIFF.

Para a imagem de 1997, necessitou-se fazer a conversão destes dados originais para o formato TIFF, com o qual seria possível fazer a leitura dos dados no software utilizado. Para tal transformação executou-se os procedimentos conforme o



mencionado no arquivo de “L2TIFF.DOC” contido no CD-ROM, criando-se assim as imagens referentes a cada uma das bandas espectrais do Landsat 5 TM no HD do computador. Depois criadas todas as bandas optou-se por gravar estas em outro CD-ROM, facilitando-se assim o acesso futuro aos dados.

Já a imagem de 1986, comprada posteriormente junto ao INPE também, veio em formato TIFF e não necessitou de nenhum processamento intermediário.

### 5.2.2 Registro das Imagens

Como as duas imagens disponíveis para a presente pesquisa eram cenas completas do Landsat 5 TM, e a região de interesse na pesquisa não abrangia toda a imagem, necessitou-se fazer o registro das imagens adquiridas para recortar a área de interesse para a pesquisa.

Este registro foi executado em duas etapas, descritas a seguir.

#### 5.2.2.1 Imagem para mapa

Efetuuou-se o registro de todas as bandas de 1997, em relação à cartografia previamente vetorizada. Optou-se pelo registro inicial da imagem de 1997 pela facilidade de reconhecimento de feições adquiridas com o conhecimento de campo da área de estudos, assim como o fez WATRIN, VALÉRIO FILHO e SANTOS (1996)

Utilizou-se um polinômio de 2º grau, o qual requer no software utilizado, no mínimo sete pontos de controle para poder calcular o erro médio. Como o recomendado é a utilização de 2 a 3 vezes este valor (MATHER, 1987, EASTMAN, 1995), optou-se pela aquisição de 85 pontos de controle, dos quais após o refinamento restaram 37 pontos, obtendo-se então um erro de 18,94 metros.

Para a reamostragem dos dados originais utilizou-se o método do vizinho mais próximo, visto que este preserva a qualidade radiométrica da imagem original (CRÓSTA, 1992).

#### 5.2.2.2 Imagem para imagem

O registro de imagem para imagem, quando se pretende fazer a análise da paisagem constituiu-se em um requisito fundamental. Na presente pesquisa este foi efetuado utilizando-se a imagem de 1997 como referência para a correção da imagem de 1986.

JENSEN (1986) recomenda que o erro de reamostragem situe-se entre  $\frac{1}{4}$  e  $\frac{1}{2}$  pixel, para a detecção de mudanças pelos métodos de diferença ou razão de bandas. GREEN, KEMPLA e LACKEY (1994), admitem um erro de até 1,7 pixel no registro entre imagens. MICHENER e HOUHOULIS (1997) trabalhando com a detecção de mudança na vegetação obtiveram um erro de reamostragem menor que 5 metros. Já CHAVEZ e MACKINNON (1994) concluíram que a utilização de 15 a 25 pontos de controle por imagem, na correção de imagem para imagem, era suficiente para uma precisão na correção geométrica de 1 pixel.

Com a finalidade de se obter um erro de reamostragem ideal, conforme descrito anteriormente, para a comparação multitemporal utilizou-se um polinômio de 2º grau, foram então coletados inicialmente 60 pontos de controle distribuídos aleatoriamente na imagem, sendo que destes restaram apenas 28 após o refinamento. O erro de reamostragem entre as duas datas foi de 0,66 pixel.

### 5.3 RECORTE DA ÁREA DE INTERESSE

A área de interesse para o presente estudo situava-se nas coordenadas 27°00' a 28°00' S e de 50°00' a 51°00' W, como descrito anteriormente, porém devido à presença de nuvens na imagem de 1997 fez-se necessária a retirada destas na imagem a ser processada.

Assim foi feito um polígono sobre a área de interesse retirando-se as duas regiões que apresentavam nuvens, pois estas se encontravam-se nas extremidades da área de interesse.

Então com o polígono da área de interesse definido, a partir do software Advanced Image, aplicou-se à ferramenta Extract, do menu Tools, a qual permitiu a extração das regiões de nuvens de todas as bandas que seriam analisadas. Nesta ferramenta escolheu-se as bandas que serão submetidas ao processo de extração e então se definiu que esta será executada a partir de um polígono já existente, assim o software encarregou-se de recortar todas as bandas.

Com esta extração, as regiões que apresentavam nuvens na imagem de 1997 e as mesmas regiões na imagem de 1986 tiveram seus valores de brilho modificados para zero (0). Porém as análises estatísticas apresentadas a seguir não envolveram estas regiões, pois estas foram executadas a partir do polígono definido anteriormente.

Retirando-se as regiões de nuvens da área de interesse, ficou-se com uma área de pesquisa de 1.054.093,95 ha, equivalente a 11.712.155 pixels.

#### 5.4 ESTATÍSTICA UNIDIMENSIONAL DAS IMAGENS LANDSAT 5 TM

Neste item são discutidas as estatísticas das imagens Landsat 5 TM utilizadas na presente pesquisa, para a área de interesse, iniciando pelas estatísticas básicas.

Comparando-se as médias das bandas equivalentes para ambas as datas, nota-se que as médias da imagem obtida em 1997 são muito inferiores do que as médias das bandas de 1986 (tab. 4), o mesmo ocorrendo para a variância e desvio padrão. Esta diferença entre as médias das bandas equivalentes pode ser mais bem visualizada quando comparamos os histogramas. SIRTOLI (1998), encontrou resultados semelhantes analisando as bandas 3, 4 e 5, para os anos de 1987 e 1996.

Pela comparação dos histogramas (fig. 6 até 11) podemos verificar que as bandas adquiridas em 1986 apresentam uma maior amplitude da distribuição dos níveis de cinza quando comparadas com as mesmas bandas adquiridas em 1997.

TABELA 4 - ESTATÍSTICAS BÁSICAS DAS IMAGENS LANDSAT 5 TM UTILIZADAS

Banda/Ano	Média	Variância	Desvio Padrão
TM1/1986	72,530249	35,660827	5,971669
TM1/1997	34,422679	10,826439	3,290355
TM2/1986	30,837665	25,827404	5,082067
TM2/1997	13,864764	7,556326	2,748877
TM3/1986	30,767077	74,613819	8,637929
TM3/1997	15,448612	30,341620	5,508323
TM4/1986	81,228870	282,285170	16,801344
TM4/1997	31,082160	76,509794	8,746988
TM5/1986	87,679847	684,195335	26,157128
TM5/1997	39,382366	368,283198	19,190706
TM7/1986	32,083157	152,083690	12,332222
TM7/1997	10,667363	47,344862	6,880760

Comparando-se os histogramas das duas imagens brutas, verifica-se que há uma maior distribuição dos pixels, em termos de frequência de níveis de cinza, nas imagens de 1986, quando comparada com as imagens de 1997, isto segundo CRÓSTA (1992), indica que a imagem de 1986 apresenta-se com um maior contraste.

Através da análise da distribuição do histograma pode-se verificar que a banda TM5, em ambas as épocas, apresenta uma melhor distribuição dos níveis de cinza quando comparada com as demais bandas, proporcionando assim um melhor contraste em relação às outras bandas.

Os histogramas para todas as bandas de ambas as datas, com exceção da banda TM4 de 1986, apresentam distribuição bi-modal ou multi-modal, o que caracteriza perfeitamente a região de estudo, que se assemelha muito a uma “colcha de retalhos”, visto a grande diversidade de tipos de uso e cobertura do solo.

Esta interpretação do histograma é, para CRÓSTA (1992), a base necessária para se aplicar às funções de realce ou aumento de contraste.

FIGURA 6 - HISTOGRAMA DA BANDA TM1 DE 1986 E 1997

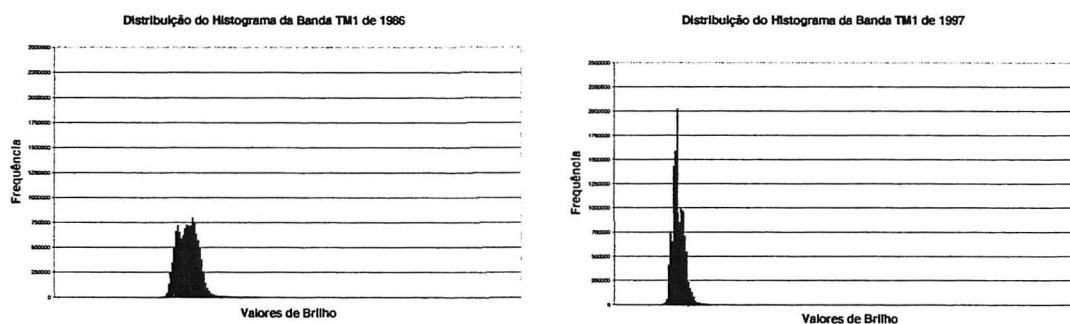


FIGURA 7 - HISTOGRAMA DA BANDA TM2 DE 1986 E 1997

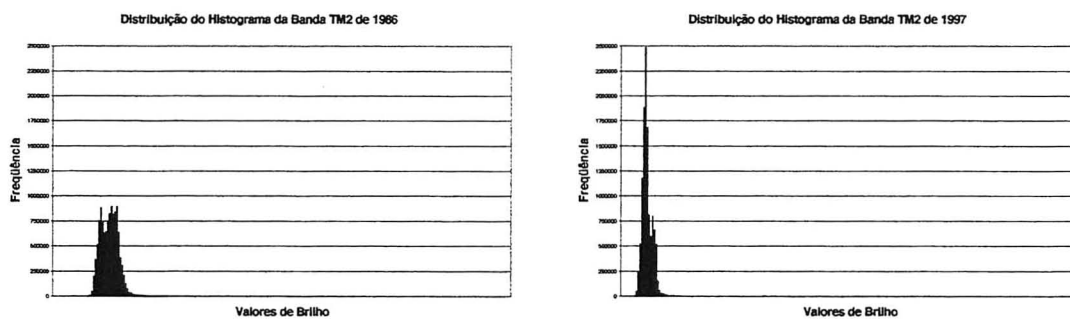


FIGURA 8 - HISTOGRAMA DA BANDA TM3 DE 1986 E 1997

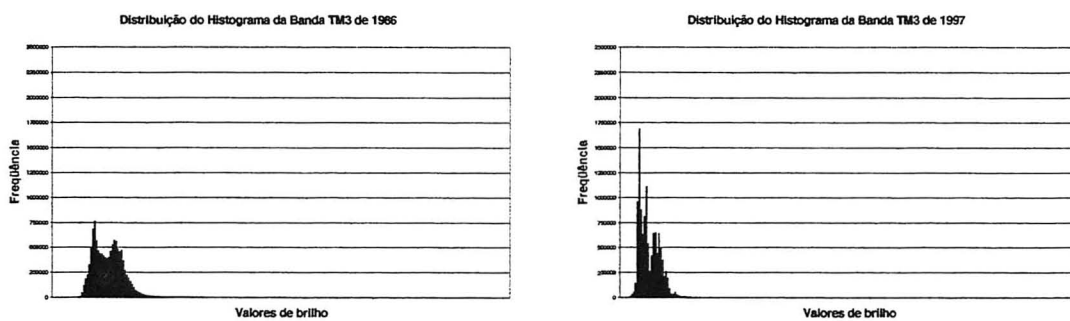


FIGURA 9 - HISTOGRAMA DA BANDA TM4 DE 1986 E 1997

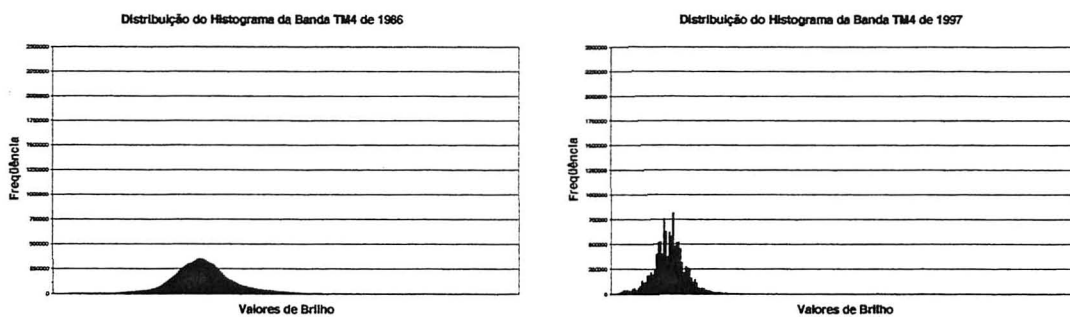


FIGURA 10 - HISTOGRAMA DA BANDA TM5 DE 1986 E 1997

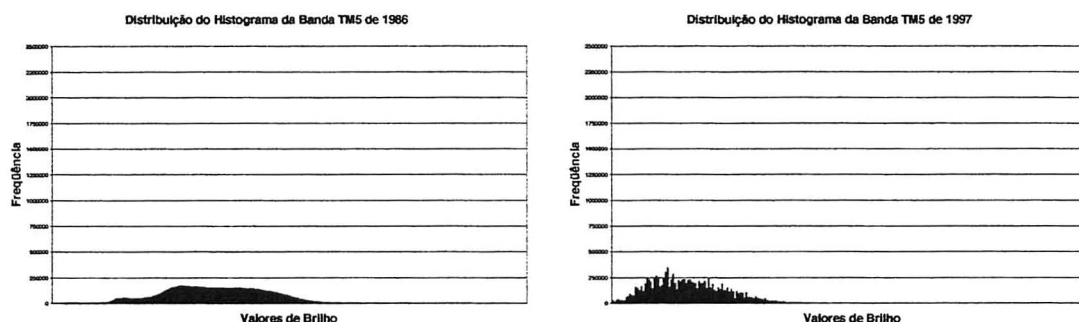
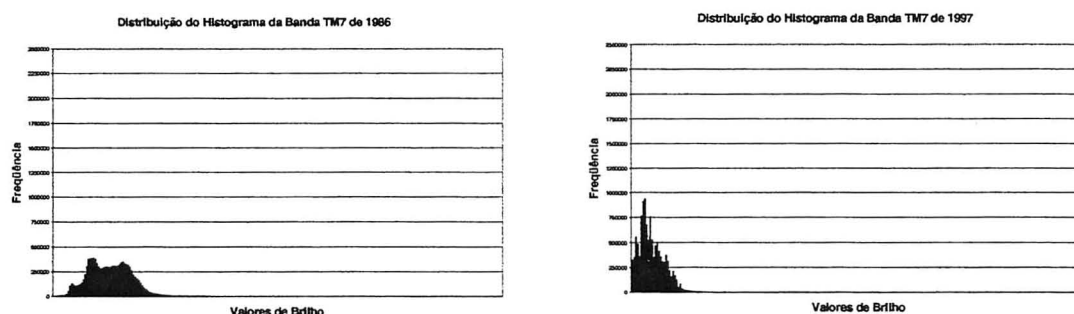


FIGURA 11 - HISTOGRAMA DA BANDA TM7 DE 1986 E 1997.



## 5.5 ESTATÍSTICA MULTIVARIADA DAS IMAGENS LANDSAT 5 TM

Apresenta-se neste item uma análise da estatística multivariada obtida a partir das imagens originais de 1986 e 1997. Também é apresentado neste as características das principais componentes, visto que estas foram utilizadas em substituição das bandas originais.

Nas tabelas 5 e 7 são apresentadas as matrizes de variância-covariância para as imagens de 1986 e 1997 respectivamente, sendo que através da sua normalização temos as matrizes de correlação apresentadas nas tabelas 6 e 8.

Na tabela 6, pode-se verificar que os pares de bandas com maior correlação são os pares pertencentes a faixas próximas no espectro, isto é, TM1 e TM2 93,69%; TM1 e TM3 91,37%; TM2 e TM3 91,51%; TM5 e TM7 91,89%, as bandas com as menores correlações apresentam-se mais distantes no espectro, isto é, TM1 e TM4 26,89%; TM2 e TM4 39,34%; TM3 e TM4 14,37%; TM4 e TM7 com 27,84%,

podendo-se notar claramente aqui que a banda TM4 é a que apresenta a maior quantidade de informações não repetidas.

Este coeficiente de correlação, segundo CRÓSTA (1992), expressa o quanto de informação de uma banda pode ser deduzido com razoável aproximação a partir da intensidade do pixel correspondente na outra imagem, isto também pode ser definido quando de informação redundante temos nas respectivas bandas.

Quando se comparam estes resultados com as características das bandas, pode-se notar que as bandas com alta correlação encontram-se no espectro visível e no infravermelho médio; numa comparação dos valores de correlação entre uma banda do visível e outra do infravermelho verifica-se que a correlação tende a diminuir neste sentido de maior comprimento de onda.

Já para a imagem de 1997, temos que as bandas com maiores correlações foram: TM2 e TM3 com 91,42% e TM5 e TM7 com 93,45% e as menores correlações foram encontradas entre as bandas: TM1 e TM4 com 28,45%, TM2 e TM4 com 37,71%, TM3 e TM4 com 24,19% e TM4 e TM7 com 29,43%.

TABELA 5 - MATRIZ DE VARIÂNCIA-COVARIÂNCIA DAS BANDAS DE 1986

Bandas	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
TM1	<b>35,6608</b>					
TM2	28,4340	<b>25,8274</b>				
TM3	47,1320	40,1702	<b>74,6138</b>			
TM4	26,9817	33,5868	20,8495	<b>282,2852</b>		
TM5	119,1258	108,2939	164,8029	238,4203	<b>684,1954</b>	
TM7	61,1155	52,6303	90,4371	57,6937	296,3986	<b>152,0837</b>

TABELA 6 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS BANDAS DE 1986

Bandas	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
TM1	<b>1,0000</b>					
TM2	0,9369	<b>1,0000</b>				
TM3	0,9137	0,9151	<b>1,0000</b>			
TM4	0,2689	0,3934	0,1437	<b>1,0000</b>		
TM5	0,7626	0,8147	0,7294	0,5425	<b>1,0000</b>	
TM7	0,8299	0,8398	0,8490	0,2784	0,9189	<b>1,0000</b>

TABELA 7 - MATRIZ DE VARIÂNCIA-COVARIÂNCIA DAS BANDAS DE 1997

Bandas	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
TM1	<b>10,8264</b>					
TM2	7,4832	<b>7,5563</b>				
TM3	15,0486	13,8420	<b>30,3416</b>			
TM4	8,1880	9,0676	11,6558	<b>76,5098</b>		
TM5	46,1832	42,6158	88,2910	70,8078	<b>368,2832</b>	
TM7	17,1472	15,7406	33,1811	17,7142	123,3920	<b>47,3449</b>

TABELA 8 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS BANDAS DE 1997

Bandas	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
TM1	<b>1,0000</b>					
TM2	0,8274	<b>1,0000</b>				
TM3	0,8303	0,9142	<b>1,0000</b>			
TM4	0,2845	0,3771	0,2419	<b>1,0000</b>		
TM5	0,7314	0,8078	0,8352	0,4218	<b>1,0000</b>	
TM7	0,7574	0,8322	0,8755	0,2943	0,9345	<b>1,0000</b>

De um modo geral pode-se dizer que as bandas da imagem de 1986 estão muito mais correlacionadas do que as bandas da imagem de 1997.

Analisando-se os dados de autovalores contidos nas tabelas 9 e 10, podemos notar que as três primeiras componentes principais para ambas as datas representam mais que 98% da variação acumulada das seis bandas de cada época, praticamente o mesmo encontrado por outros autores (CARMELO e CARVALHO, 1993, GONZÁLEZ, VILLARROEL e RUIZ, 1993, KIRCHNER, BERNARDI e YAMAJI, 2000). Isto evidencia a importância de sua utilização em substituição das bandas originais sem diminuir a qualidade das informações disponíveis.

TABELA 9 - AUTOVALORES DA APC DA IMAGEM DE 1986

Principal Componente	$\lambda$	%	% acumulado
PC1	987,4704	78,7038	78,7038
PC2	217,5783	17,3415	96,0454
PC3	37,1131	2,9580	99,0034
PC4	7,4850	0,5966	99,5999
PC5	3,7045	0,2953	99,8952
PC6	1,3150	0,1048	100,0000



TABELA 10 - AUTOVALORES DA APC DA IMAGEM DE 1997

Principal Componente	$\lambda$	%	% acumulado
PC1	458,3151	84,7379	84,7379
PC2	63,2232	11,6893	96,4272
PC3	12,2848	2,2713	98,6985
PC4	3,7042	0,6849	99,3834
PC5	2,5038	0,4629	99,8463
PC6	0,8313	0,1537	100,0000

### 5.5.1 Estatística Multivariada dos Pares de Bandas (APCS)

Apresenta-se agora a análise estatística envolvendo a APCS, apresentada por pares de bandas. Através das tabelas 11 até 16, apresentadas a seguir, verifica-se que a banda que apresenta maior correlação é a banda TM5 com 58,08%, e a banda com menor correlação é a banda TM4 com 32,63%.

Analizando-se os autovalores de todas as bandas, pode-se verificar que a relação autovalor ( $\lambda$ ) da 1ª PCS e o autovalor ( $\lambda$ ) da 2ª PCS para a banda TM1 é de 0,18, para a TM2 é 0,17, para a TM3 é 0,20, para a TM4 é 0,22, para a TM5 é 0,02 e para a TM7 é de 0,17. MALDONADO (1999) analisando as banda TM3 e TM4 do Landsat 5, encontrou uma relação de 0,22 para a banda TM3 e de 0,20 para a banda TM4, muito próximos dos encontrados no presente trabalho para as mesmas bandas, embora tratando-se de paisagens bem distintas na complexidade das formações brasileiras. Calculando-se esta relação para os dados apresentados por SIRTOLI (1998), temos uma relação de 0,07 para a banda TM3 e 0,03 para a banda TM4 e 0,06 para a banda TM5.

TABELA 11 - APCS DA BANDA TM1

Matriz variância-covariância			
Bandas	TM1 1986	TM1 1997	
TM1 1986	35,6608		
TM1 1997	10,1794	10,8264	
Matriz de correlação			
Bandas	TM1 1986	TM1 1997	
TM1 1986	1,0000		
TM1 1997	0,5181	1,0000	
Autovalores			
Principal Componente		%	% acumulado
PCS 1	39,3000	84,5392	84,5392
PCS 2	7,1873	15,4608	100,0000

TABELA 12 - APCS DA BANDA TM2

Matriz variância-covariância			
Bandas	TM2 1986	TM2 1997	
TM2 1986	25,8274		
TM2 1997	7,6949	7,5563	
Matriz de correlação			
Bandas	TM2 1986	TM2 1997	
TM2 1986	1,0000		
TM2 1997	0,5508	1,0000	
Autovalores			
Principal Componente	$\lambda$	%	% acumulado
PCS 1	28,6363	85,7792	85,7792
PCS 2	4,7474	14,2208	100.0000

TABELA 13 - APCS DA BANDA TM3

Matriz variância-covariância			
Bandas	TM3 1986	TM3 1997	
TM3 1986	74,6138		
TM3 1997	26,9109	30,3416	
Matriz de correlação			
Bandas	TM3 1986	TM3 1997	
TM3 1986	1,0000		
TM3 1997	0,5656	1,0000	
Autovalores			
Principal Componente	$\lambda$	%	% acumulado
PCS 1	87,3232	83,2002	83,2002
PCS 2	17,6323	16,7998	100,0000

TABELA 14 - APCS DA BANDA TM4

Matriz variância-covariância			
Bandas	TM4 1986	TM4 1997	
TM4 1986	282,2852		
TM4 1997	47,9553	76,5098	
Matriz de correlação			
Bandas	TM4 1986	TM4 1997	
TM4 1986	1,0000		
TM4 1997	0,3263	1,0000	
Autovalores			
Principal Componente	$\lambda$	%	% acumulado
PCS 1	292,9122	81,6378	81,6378
PCS 2	65,8828	18,3622	100,0000

TABELA 15 - APCS DA BANDA TM5

Matriz variância-covariância			
Bandas	TM5 1986	TM5 1997	
TM5 1986	684,1954		
TM5 1997	291,5279	368,2832	
Matriz de correlação			
Bandas	TM5 1986	TM5 1997	
TM5 1986	1,0000		
TM5 1997	0,5808	1,0000	
Autovalores			
Principal Componente	$\lambda$	%	% acumulado
PCS 1	857,8093	81,5037	81,5037
PCS 2	18,4963	18,4963	100,0000

TABELA 16 - APCS DA BANDA TM7

Matriz variância-covariância			
Bandas	TM7 1986	TM7 1997	
TM7 1986	152,0837		
TM7 1997	47,2378	47,3449	
Matriz de correlação			
Bandas	TM7 1986	TM7 1997	
TM7 1986	1,0000		
TM7 1997	0,5567	1,0000	
Autovalores			
Principal Componente	$\lambda$	%	% acumulado
PCS 1	170,2406	85,3642	85,3642
PCS 2	29,1879	14,6358	100,0000

## 5.6 COMPARAÇÃO VISUAL ENTRE A COMPOSIÇÃO COLORIDA UTILIZANDO AS BANDAS ORIGINAIS E UMA COMPOSIÇÃO COLORIDA FORMADA POR PRINCIPAIS COMPONENTES

Para CARMELO e CARVALHO (1993), uma composição colorida utilizando as três primeiras principais componentes apresenta-se como produto de boa qualidade para a interpretação visual, semelhante àqueles obtidos na transformação por IHS (Intensidade, Matiz, Saturação), porém com maior definição de lineamentos estruturais.

BEZERRA (1993) utilizando as bandas TM3, 4 e 5 do Landsat, fez a análise por principais componentes, concluindo que a técnica resultou em uma imagem de ótimo contraste para a primeira componente, mas de péssima qualidade para as demais

componentes, inviabilizando a formação de uma composição colorida com as três principais componentes.

Segundo WATRIN, VALÉRIO FILHO e SANTOS (1996), a utilização das três primeiras principais componentes para a geração da composição colorida caracteriza-se por apresentar grande contraste entre cores, proporcionando uma maior separabilidade entre todas as feições detectadas. Este autor também salienta que a primeira principal componente formada fornece indicações fundamentais das diferenças marcantes entre os grupamentos com estrutura de características florestais (floresta primária e estádios de sucessão secundária), daqueles inseridos no contexto agrícola (culturas, pastagem e solo exposto). As duas outras principais componentes concentram as informações responsáveis pela definição intraclasses ou intragrupos temáticos.

Para executar a comparação visual, AZEVEDO et al. (1993) utilizaram os seguintes parâmetros interpretativos: cor, textura e geometria. No presente trabalho será utilizado apenas o parâmetro interpretativo “cor”, visto ser este o parâmetro com maior variação quando da utilização das principais componentes.

Pela análise da tabela 17, pode-se verificar que as cores de uma composição coloridas formadas pelas bandas originais não mantêm a mesma relação na composição colorida formada pelas três primeiras principais componentes.

Quando da comparação visual, na composição colorida formada pelas três primeiras principais componentes ficam mais fáceis, a distinção visual das classes “floresta nativa” e “reflorestamento”, como mostrado na tabela 16, onde na composição colorida 543-RGB as classes “floresta nativa” e “reflorestamento” apresentam respectivamente as cores, verde amarelado e diferente tons de verde. Já na composição colorida formada pelas três primeiras principais componentes temos a classe “floresta nativa” em diferentes tons de azul e a classe “reflorestamento” em verde claro podendo chegar ao verde médio.

TABELA 17 - RESULTADOS DA COMPARAÇÃO DAS COMPOSIÇÕES COLORIDAS

Classe	Cor (543-RGB) 1986	Cor (PC1PC2PC3-RGB) 1986	Cor (543-RGB) 1997	Cor (PC1PC2PC3-RGB) 1997
Água	Azul	Preta	Azul	Preta
Campo	Lilás	Tons de lilás escuro	Lilás claro	Tons de lilás escuro
Cidade	Roxo	Vermelho	Roxo claro	Vermelho
F. Nativa	Verde amarelado	Tons de azul	Verde amarelado	Tons de azul
Reflores- tamento	Dif. tons de verde	Verde claro e médio	Dif. tons de verde	Verde claro e médio
S. exposto	Roxo escuro	Vermelho escuro	Roxo escuro	Vermelho escuro
Sombra	Preta	Vermelho escuro	-	-
Capoeira	-	-	Amarelo esverdeado	Amarela

A seguir, para facilitar mais a compreensão da maior separabilidade da “floresta nativa” e “reflorestamento”, são apresentados nas figuras 12 e 13 exemplos utilizando as duas composições coloridas.

FIGURA 12 - EXEMPLO DA CLASSE “REFLORESTAMENTO” EM COMPOSIÇÃO COLORIDA 543-RGB E PC1PC2PC3-RGB

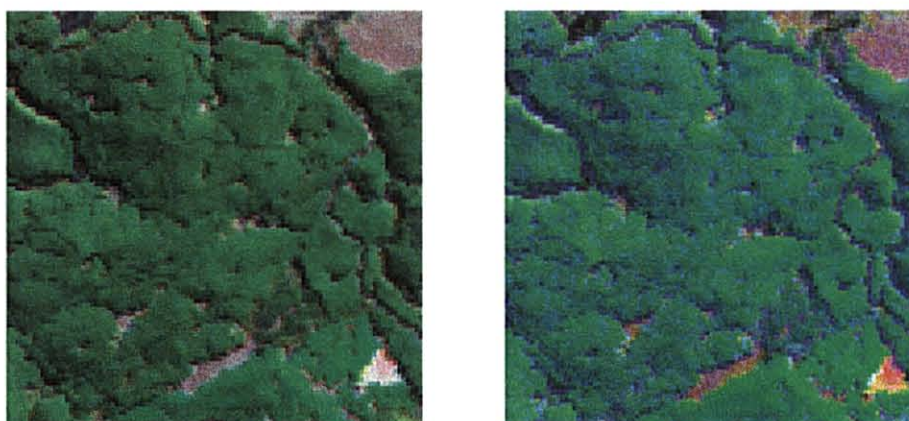
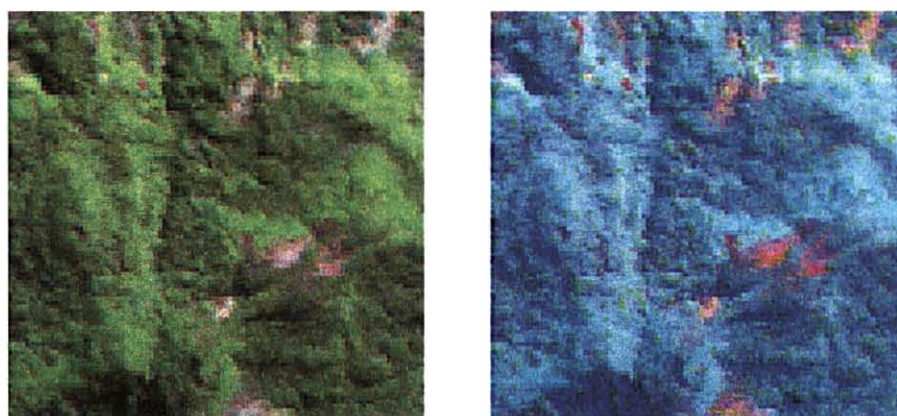


FIGURA 13 - EXEMPLO DA CLASSE “FLORESTA NATIVA” EM COMPOSIÇÃO COLORIDA 543-RGB E PC1PC2PC3-RGB



Pela comparação visual dos exemplos apresentados nas figuras 12 e 13 pode-se notar que com a utilização de uma composição colorida feita com as três primeiras principais componentes fica muito mais fácil a distinção das classes apresentadas, confirmando o que foi comentado por BEZERRA (1993), CARMELO e CARVALHO (1993) e WATRIN (1994).

## 5.7 DEFINIÇÃO DAS CLASSES PARA A CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

Com base em um conhecimento prévio da área de estudos, foi definida para a presente pesquisa as seguintes classes de uso e ocupação do solo: “Água, campo, capoeira, cidade, floresta nativa, reflorestamento, solo exposto e sombra”, as quais estão exemplificadas com fotografias tiradas na região. Destas, a classe “sombra” somente pode ser identificada na imagem de 1997 e a classe “capoeira” somente foi diferenciada na imagem de 1986. Foi também definida uma classe “nuvem” a qual representa a área onde havia a presença de nuvens na imagem de 1986.

Devido a não possibilidade de diferenciação de uma classe “agricultura” estas áreas estão contempladas na classe “solo exposto” visto que apresentam similar resposta espectro-textural, pela fase de crescimento vegetativo dos cultivos em relação à época da tomada das imagens.

Então com a definição destas classes, foram feitas as aquisições dos polígonos das áreas de treinamento para ambas as datas, sobre as 3 primeiras principais componentes de cada época. A análise visual, comparando as composições formadas pelas principais componentes com aquelas das bandas originais, ajudou no momento da obtenção das classes aqui mapeadas, pois a partir desta análise pode-se verificar as diferenças entre este tipo de composição colorida com as tradicionalmente utilizadas.

Inicialmente fez-se a classificação da imagem de 1997, visto o conhecimento da região, então com base nesta classificação procedeu-se a classificação da imagem de 1986.

A seguir apresenta-se uma breve descrição das classes mapeadas:

- a) **“água”** – corpos d’água representados por rios e lagos, caracterizando-se principalmente pela baixa reflectância espectral.
- b) **“campo”** - formação gramíneo-lenhosa típica na região de estudo, ocorrendo em grande parte desta, foram aqui englobadas todos os tipos de campo, pastagens nativas ou plantadas.
- c) **“capoeira”** - fase de sucessão secundária da floresta nativa, em estádios distintos de crescimento que às definem pelo porte dos indivíduos arbóreos e sua densidade.
- d) **“cidade”** - esta classe refere-se a todas as regiões caracterizadas pela ocupação urbana, como construções em geral. Apresentam pequenos focos de vegetação entremeados, porém, devido à resolução espacial do sensor utilizado, estes não são imageados.
- e) **“floresta nativa”** - representam as formações arbóreas nativas da região de estudos representada pela Floresta Ombrófila Mista, inserindo-se nesta categoria as áreas de *Araucaria angustifolia* (pinheiro-do-paraná), independente da densidade presente.
- f) **“reflorestamento”** - engloba os plantios de espécies exóticas presentes na região de estudos, principalmente *Pinus* sp., os quais ocorrem em grande parte da região de estudos, e em menor proporção os plantios de *Eucalyptus* sp.
- g) **“solo exposto”** - compreende as áreas desprovidas de vegetação geralmente em pousio ou preparado para plantio e também as áreas com cultivos agrícolas, face ao desenvolvimento vegetativo ainda com elevada exposição do solo.



- h) **“sombra”** - são áreas onde devido à declividade e o ângulo de incidência do sol, apresentam regiões com baixa reflectância, ocorrem principalmente na região serrana.

As figuras 14 até 20, ilustram as classes mapeadas através de fotografias obtidas da área de estudos durante o trabalho de campo e também em sobrevôos efetuados na região em trabalhos anteriores.

FIGURA 14 - NA PARTE CENTRAL DA FOTO UM EXEMPLO DA CLASSE “ÁGUA”, COM “CAMPO” NOS ARREDORES E “CIDADE” AO FUNDO





FIGURA 15 - EXEMPLO DA CLASSE “CAMPO”



FIGURA 16 - FOTOGRAFIA AÉREA EXEMPLIFICANDO A CLASSE “CIDADE”





FIGURA 17 - AO FUNDO EXEMPLO DA CLASSE "FLORESTA NATIVA" NO LADO DIREITO "AGRICULTURA" E NO PRIMEIRO PLANO "CAMPO"



FIGURA 18 - EXEMPLO DA CLASSE "REFLORESTAMENTO"





FIGURA 19 - FOTOGRAFIA AÉREA EXEMPLIFICANDO AS CLASSES "FLORESTA NATIVA" LADO ESQUERDO, "CAMPO" E "SOLO EXPOSTO" LADO DIREITO



FIGURA 20 - FOTOGRAFIA AÉREA DE UM REFLORESTAMENTO DE PINUS SP., ONDE VERIFICA-SE A PRESENÇA DE SOMBRAS DE NUVENS.



Nas tabelas 17 e 18 são apresentadas as assinaturas espectrais das classes, utilizando-se as três primeiras principais componentes de 1986 e de 1997, respectivamente.

Pela análise dos gráficos 1. e 2, gerados a partir da média das assinaturas espectrais de cada classe para cada principal componente, obtidas das tabelas 17 e 18, respectivamente para as imagens de 1986 e 1997, podemos verificar que para as classes mapeadas, em ambas as datas, a tendência da assinatura espectral destas classes é muito semelhante, não ocorrendo isto, no entanto para as classes “solo exposto” e “água”.

A classe “solo exposto” na imagem de 1986 apresentou uma alta reflectância na primeira e terceira principal componente e uma baixa reflectância na segunda principal componente. Na imagem de 1997, a classe apresentou uma alta reflectância na primeira e segunda principal componente e uma baixa reflectância na terceira principal componente.

Já a classe “água” apresentou uma baixa reflectância na primeira e segunda principal componente e uma alta reflectância na terceira principal componente quando analisada na imagem de 1986, em se tratando dos dados da imagem de 1997, esta apresenta uma alta reflectância na primeira principal componente diminuindo esta reflectância nas demais.

As alterações na reflectância das classes “solo exposto” e “água”, quando comparadas ambas as datas, poder ter sido ocasionada pela diferença do ângulo de inclinação solar no momento da aquisição das duas imagens.

TABELA 18 - ASSINATURAS ESPECTRAIS DAS CLASSES MAPEADAS PARA 1986

Nuvem							
Banda	Total Pixel	Mínimo	Máximo	Mediana	Moda	Média	D.padrão
PC1 1986	8405	0	0	0	0	0,00	0,00
PC2 1986	8405	33	33	33	33	33,00	0,00
PC3 1986	8405	255	255	255	255	255,00	0,00
Água							
Banda	Total Pixel	Mínimo	Máximo	Mediana	Moda	Média	D.padrão
PC1 1986	5102	0	68	1	0	2,98	4,34
PC2 1986	5102	0	79	0	0	1,51	4,11
PC3 1986	5102	0	130	0	0	8,19	19,46
Solo exposto							
Banda	Total Pixel	Mínimo	Máximo	Mediana	Moda	Média	D.padrão
PC1 1986	566	59	255	114	119	123,78	46,24
PC2 1986	566	0	115	16	0	20,09	24,11
PC3 1986	566	0	255	62	0	79,64	64,73
Cidade							
Banda	Total Pixel	Mínimo	Máximo	Mediana	Moda	Média	D.padrão
PC1 1986	12	143	255	186	255	195,92	41,34
PC2 1986	12	0	69	26	0	29,33	23,59
PC3 1986	12	0	0	0	0	0,00	0,00
Mata Nativa							
Banda	Total Pixel	Mínimo	Máximo	Mediana	Moda	Média	D.padrão
PC1 1986	706	19	152	77	82	78,40	28,32
PC2 1986	706	15	255	131	255	135,39	50,89
PC3 1986	706	0	191	137	0	119,34	47,82
Campo							
Banda	Total Pixel	Mínimo	Máximo	Mediana	Moda	Média	D.padrão
PC1 1986	803	141	255	181	174	185,95	22,31
PC2 1986	803	0	178	98	0	99,78	31,66
PC3 1986	803	82	255	161	161	158,60	26,89
Reflorestamento							
Banda	Total Pixel	Mínimo	Máximo	Mediana	Moda	Média	D.padrão
PC1 1986	1296	32	112	55	60	54,88	11,18
PC2 1986	1296	94	228	164	166	165,26	22,64
PC3 1986	1296	36	152	95	104	94,98	20,71
Capoeira							
Banda	Total Pixel	Mínimo	Máximo	Mediana	Moda	Média	D.padrão
PC1 1986	396	108	255	196	154	181,44	36,62
PC2 1986	396	100	255	242	255	235,53	25,68
PC3 1986	396	0	186	92	0	79,64	43,90

TABELA 19 - ASSINATURAS ESPECTRAIS DAS CLASSES MAPEADAS PARA 1997

Nuvem							
Banda	Total Pixel	Mínimo	Máximo	Mediana	Moda	Média	D.padrão
PC1 1986	6724	22	22	22	22	22,00	0,00
PC2 1986	6724	19	19	19	19	19,00	0,00
PC3 1986	6724	255	255	255	255	255,00	0,00
Água							
Banda	Total Pixel	Mínimo	Máximo	Mediana	Moda	Média	D.padrão
PC1 1986	4848	37	106	46	45	46,54	4,54
PC2 1986	4848	7	105	22	20	22,71	7,44
PC3 1986	4848	0	163	0	0	9,56	21,96
Sombra							
Banda	Total Pixel	Mínimo	Máximo	Mediana	Moda	Média	D.padrão
PC1 1986	599	33	153	38	35	38,18	7,14
PC2 1986	599	20	144	33	37	33,89	8,38
PC3 1986	599	100	255	142	142	142,60	14,60
Solo exposto							
Banda	Total Pixel	Mínimo	Máximo	Mediana	Moda	Média	D.padrão
PC1 1986	404	61	255	161	255	168,29	65,58
PC2 1986	404	0	255	73	43	86,35	52,24
PC3 1986	404	0	235	46	0	52,75	54,05
Mata Nativa							
Banda	Total Pixel	Mínimo	Máximo	Mediana	Moda	Média	D.padrão
PC1 1986	298	57	255	103	255	120,68	49,33
PC2 1986	298	60	255	161	255	167,54	50,85
PC3 1986	298	0	255	138	119	142,02	31,10
Campo							
Banda	Total Pixel	Mínimo	Máximo	Mediana	Moda	Média	D.padrão
PC1 1986	166	145	255	196	176	201,43	26,72
PC2 1986	166	61	165	115	113	113,93	16,27
PC3 1986	166	85	255	135	125	142,25	29,64
Reflorestamento							
Banda	Total Pixel	Mínimo	Máximo	Mediana	Moda	Média	D.padrão
PC1 1986	273	60	94	78	80	77,71	7,09
PC2 1986	273	116	255	175	255	185,07	34,87
PC3 1986	273	53	163	107	119	105,03	20,50
Cidade							
Banda	Total Pixel	Mínimo	Máximo	Mediana	Moda	Média	D.padrão
PC1 1986	4	148	181	155	155	162,00	12,35
PC2 1986	4	58	113	83	83	91,50	22,79
PC3 1986	4	0	0	0	0	0,00	0,00

Através da análise da matriz de confusão, pode-se avaliar a separabilidade espectral das classes e uma análise mais detalhada do resultado da classificação. Assim as categorias classificadas foram analisadas quanto à sua pureza e porcentagem correta de classificação (LILLESAND e KIEFER, 1979).



GRÁFICO 1 - COMPARAÇÃO DAS ASSINATURAS ESPECTRAIS PELAS MÉDIAS DOS VALORES DE BRILHO DA IMAGEM DE 1986

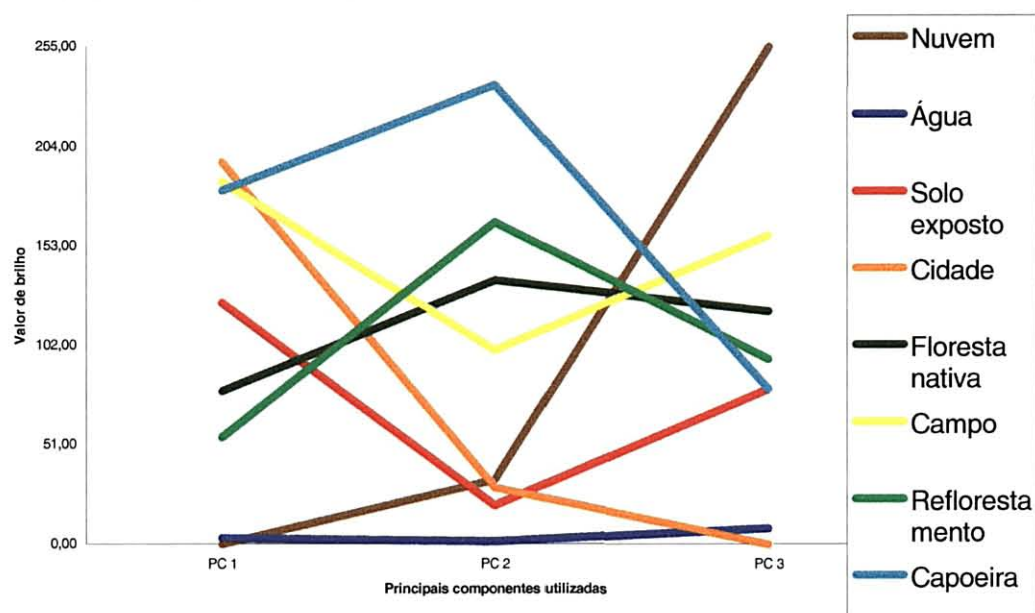
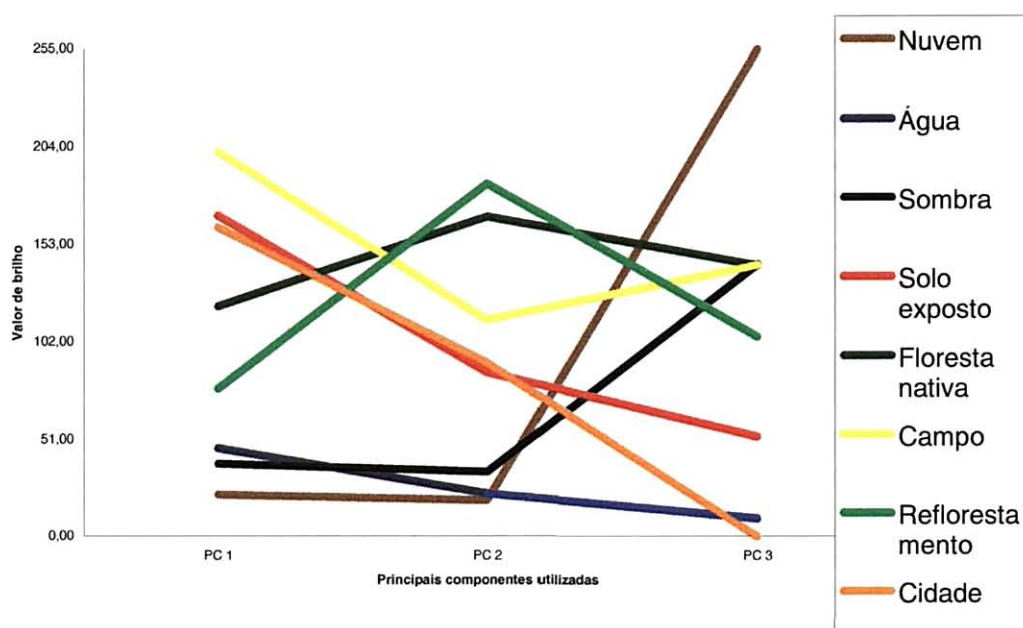


GRÁFICO 2 - COMPARAÇÃO DAS ASSINATURAS ESPECTRAIS PELAS MÉDIAS DOS VALORES DE BRILHO DA IMAGEM DE 1997



Verifica-se nas tabelas 20 e 521, que todas as classes apresentaram um percentual de acerto superior a 80% com exceção da classe “reflorestamento”, para a imagem de 1986, a qual apresentou um percentual de acerto de 79,32%.

Pela análise da matriz de confusão, tabelas 20 e 21, verifica-se que na classificação de 1986 e 1997 respectivamente 2,76% e 8,12% dos pixels da área de

treinamento não foram classificados. Para a classificação de 1986 as classes que apresentaram pixels nulos foram “solo exposto”, “campo” e “capoeira”, já para a classificação de 1997 estas foram “sombra”, “solo exposto”, “mata nativa” e “campo”. Isto se deve ao fato de que estas apresentam maior variabilidade espectro-textural dentro da classe.

TABELA 20 - MATRIZ DE CONFUSÃO PARA AS CLASSES DE TREINAMENTO - 1986 (%)

Classe	Nuvem	Água	S.exposto	Cidade	M.nativa	Campo	Reflor.	Capoeira	Nulos
Nuvem	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Água	0,00	<b>95,00</b>	4,92	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
S.exposto	0,00	0,00	<b>88,16</b>	6,18	3,18	1,59	0,00	0,00	0,88
Cidade	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M.nativa	0,00	0,00	8,07	0,00	<b>81,30</b>	0,00	1,42	9,21	0,00
Campo	0,00	0,00	6,23	0,00	0,00	<b>92,78</b>	0,00	0,12	0,87
Refloramento	0,00	0,00	0,00	0,00	18,98	0,00	<b>79,32</b>	1,70	0,00
Capoeira	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,77	0,00	<b>97,22</b>	1,01

TABELA 21 - MATRIZ DE CONFUSÃO PARA AS CLASSES DE TREINAMENTO - 1997 (%)

Classe	Nuvem	Água	Sombra	S.exposto	M.nativa	Campo	Reflor.	Cidade	Nulos
Nuvem	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Água	0,00	<b>94,37</b>	0,14	5,38	0,08	0,00	0,02	0,00	0,00
Sombra	0,00	0,00	<b>99,33</b>	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,17
S.exposto	0,00	0,00	0,00	<b>89,36</b>	1,73	2,97	0,00	1,49	4,46
M.nativa	0,00	0,00	0,00	1,34	<b>81,21</b>	0,67	15,10	0,00	1,68
Campo	0,00	0,00	0,00	1,81	3,01	<b>93,37</b>	0,00	0,00	1,81
Refloramento	0,00	0,00	0,00	0,00	4,40	0,00	<b>95,60</b>	0,00	0,00
Cidade	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00

### 5.7.1 Resultados da Classificação Supervisionada

Apresenta-se a seguir os resultados da classificação supervisionada efetuadas nas três primeiras principais componentes de cada época.

Foi feita primeiro a classificação da imagem de 1997 e em seguida a classificação da imagem de 1986, porém apresentam-se os resultados em ordem cronológica, sendo que o resultado visual destas classificações são apresentados nos anexos 2 e 3.



Na tabela 22 são apresentadas as quantificações das classes mapeadas em ambas as datas, propiciando informações sobre as mudanças ocorridas na região. As mais expressivas ocorreram nas classes “solo exposto”, “campo” e “reflorestamento”. Sendo que destas as classes “solo exposto” e “reflorestamento” tiveram aumentos, e a classe “campo” diminuiu, isto se deve a passagem desta classe para as classes “solo exposto”, “floresta nativa”, e “reflorestamento”.

TABELA 22 - RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

Classe	1986		1997	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Água	2.018,70	0,183	2.527,29	0,229
Campo	353.855,70	32,045	240.055,29	21,740
Capoeira	82.615,86	7,482	-	-
Cidade	6.514,83	0,590	5.770,08	0,523
Floresta Nativa	504.603,09	45,697	535.013,37	48,451
Nulos	5.997,69	0,543	4.182,21	0,379
Nuvem	49.103,82	4,447	49.103,82	4,447
Reflorestamento	40.092,66	3,631	114.230,52	10,345
Solo exposto	59.433,21	5,382	141.462,99	12,810
Sombra	-	-	11.889,99	1,076
<b>TOTAL</b>	<b>1.104.235,56</b>	<b>100,00</b>	<b>1.104.235,56</b>	<b>100,00</b>

Para uma melhor visualização das mudanças ocorridas na área de estudos é apresentado a seguir o gráfico 3, com o qual pode-se verificar com maior facilidade as alterações ocorridas, e quais as classes que apresentaram maiores mudanças.

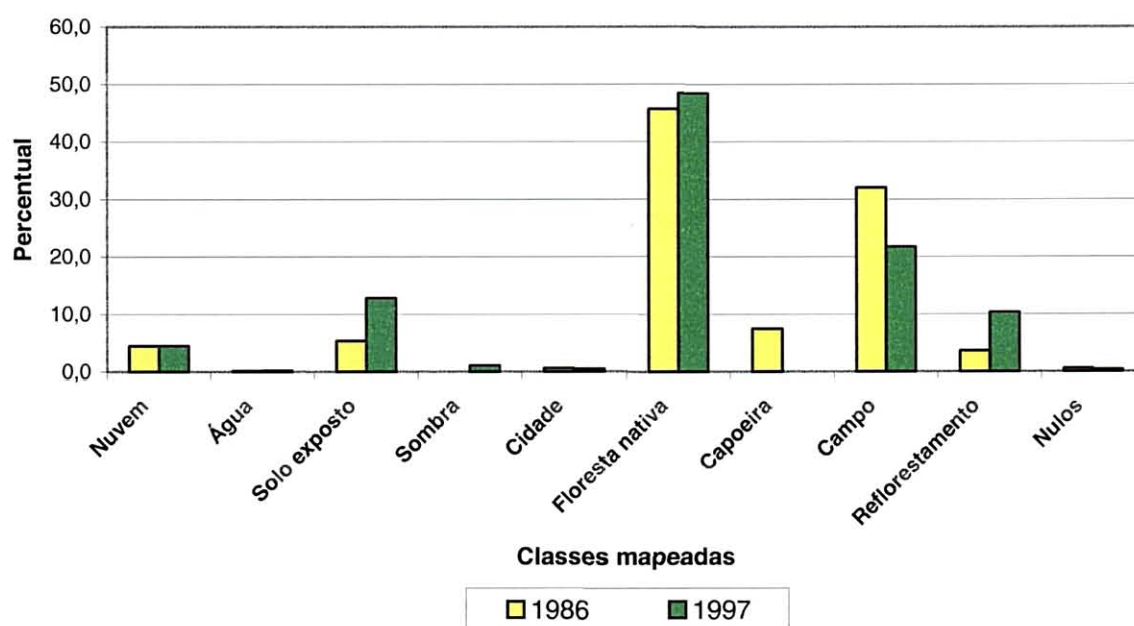
A tabela 22, somente quantifica as áreas de cada classe em ambas as datas, porém para avaliarmos quais foram às mudanças ocorridas na região no período, foi elaborada a tabela 23, a qual nos qualifica as alterações ocorridas.

Para a definição das classes que apresentaram mudanças significantes estabeleceu-se um limiar de 1% da área, isto é 11.042,36 ha, assim seguem-se às discussões posteriores. A definição deste limiar de mudanças deve-se ao fato de se processar uma área muito grande.

Com a análise da tabela 23, pode-se qualificar os acréscimos ou diminuição em área de determinada classe, citando-se como exemplo a classe “campo”, com

mudanças significativas em função da conversão de 51.619,68 ha para a classe “solo exposto”, 125.109,63 ha para a classe “floresta nativa” e 16.053,75 ha para a classe “reflorestamento”. A alteração da classe “campo” para a classe “floresta nativa” se deve ao fato de que para a imagem de 1997 não foi possível mapear se a classe “capoeira”.

GRÁFICO 3 - DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES NAS DUAS DATAS CONSIDERADAS



Já para as classes que aumentaram em relação ao ano de 1986, a classe “reflorestamento” os ganhos vieram das classes “nativa” 68.630,67 ha e “campo” 16.053,75 ha. Outra classe que aumentou foi à classe “solo exposto” sendo que seus ganhos vieram de perdas significativas nas classes, “floresta nativa” 41.220,18 ha, “capoeira” 15.499,44 ha e “campo” 51.619,68 ha.

Ao analisar-se a tabela 22 verifica-se que na classe “cidade” ocorreu uma diminuição, isto se deve à confusão desta classe com a classe “solo exposto”, a qual pode ser verificado nas tabelas 20 e 21.

Também pela análise da tabela 22 verifica-se que a classe “floresta nativa” teve um aumento, isto se deve ao fato de que na imagem de 1997 a classe “capoeira”,

devido ao seu estágio de sucessão, não foi mapeada sendo englobada na classe “floresta nativa”.

Somente analisando-se a tabela 22, não se consegue verificar o que aconteceu com a classe “capoeira”, que não pode ser mapeada na imagem de 1997, já pela análise da tabela 23, verifica-se que esta passou a fazer parte das classes “solo exposto” 15.499,44 ha, “floresta nativa” 38.591,64 ha, “campo” 23.298,84 ha e em menores proporções para as demais classes mapeadas.

TABELA 23 - QUALIFICAÇÃO DAS MUDANÇAS OCORRIDAS NO PERÍODO (HA)

1986/1997	Nulos	Nuvem	Água	Solo exposto	Sombra
Nulos	<b>22,32</b>	0,00	1,62	2.396,25	14,04
Nuvem	0,00	<b>49.103,82</b>	0,00	0,00	0,00
Água	0,90	0,00	<b>1.131,03</b>	629,91	35,37
Solo exposto	114,66	0,00	849,51	<b>24.275,25</b>	441,36
Cidade	17,19	0,00	2,97	3.274,38	27,72
Nativa	1.752,93	0,00	378,72	41.220,18	10.243,62
Campo	1.765,17	0,00	123,03	51.619,68	481,41
Reflorestamento	47,79	0,00	21,15	2.547,90	281,25
Capoeira	461,25	0,00	19,26	15.499,44	365,22
Total	4.182,21	49.103,82	2.527,29	141.462,99	11.889,99

1986/1997	Cidade	Nativa	Campo	Reflorestamento	Total
Nulos	292,14	1.443,51	1.684,89	142,92	5.997,69
Nuvem	0,00	0,00	0,00	0,00	49.103,82
Água	2,43	106,65	42,57	69,84	2.018,70
Solo exposto	1.385,01	17.752,77	11.319,48	3.295,17	59.433,21
Cidade	<b>1.308,06</b>	969,03	780,57	134,91	6.514,83
Nativa	1.189,26	<b>338.252,49</b>	42.935,22	68.630,67	504.603,09
Campo	1.072,80	125.109,63	<b>157.630,23</b>	16.053,75	353.855,70
Reflorestamento	46,44	12.787,65	2.363,49	<b>21.996,99</b>	40.092,66
Capoeira	473,94	38.591,64	23.298,84	3.906,27	82.615,86
Total	5.770,08	535.013,37	240.055,29	114.230,52	<b>1.104.235,56</b>

A ocorrência das classes “sombra” somente na imagem de 1997 é função do ângulo de elevação solar no momento da tomada da imagem, ressaltando os delineamentos geomorfológicos.

Verifica-se que a antropização na área de estudos foi significativa, isto comprovado pelos dados da tabela 22, onde a classe “campo” reduziu de 32,045 % para 21,740 % o que corresponde a uma perda de 113.800,41 ha. As classes “solo

exposto” e “reflorestamento”, aumentaram de 5,382 % para 12,810 % e 3,631 % para 10,345 % respectivamente, o que representou um ganho de 82.029,78 ha para a classe “solo exposto” e um ganho de 74.137,86 ha para a classe “reflorestamento”.

Quando se analisa a área correspondente ao pixels não classificados, isto é “nulo”, imagina-se que é uma área muito grande, 5.997,69 ha em 1986 e 4.182,21 ha em 1997, porém estas áreas representam menos de 1% da área total em estudo.

Analisando-se os valores em negrito da tabela 23, relativa às áreas que não ocorreram mudanças entre as datas, pode-se verificar que a classe “floresta nativa” é a que apresentou a maior área de não mudança entre as datas, 338.252,49 ha, outra classe com uma grande área de não mudança foi a classes “campo” com 157.630,23 ha, classes como “solo exposto” e “reflorestamento” apresentaram também uma área significativa de não mudanças, 24.275,25 ha e 21.996,99 ha respectivamente.

## 5.7.2 Avaliação da Classificação Supervisionada a Partir das Amostras de Treinamento

### 5.7.2.1 Acurácia total

Utilizando-se os dados das tabelas 20 e 21, o valor da acurácia total para a imagem de 1986 foi de 91,72% e para a imagem de 1997 foi de 94,16 %.

O maior valor da acurácia total conseguido com a imagem de 1997 deve-se ao fato de que a classificação desta imagem passou por uma checagem de campo, o que não ocorreu com a imagem de 1986, a qual foi feita somente com base na classificação feita para a imagem de 1997.

### 5.7.2.2 Kappa

Como resultado da estatística Kappa tem-se para a imagem de 1986 o índice Kappa = 0,91, e para a imagem de 1997 Kappa = 0,93.

Utilizando-se, segundo (LANDIS e KOCH<sup>8</sup>, 1977, citados por ACITS, 2000), a escala de interpretação da estatística Kappa, tabela 24, obteve-se um resultado “quase perfeito” na classificação supervisionada.

TABELA 24 - INTERPRETAÇÃO DA ESTATÍSTICA KAPPA

Índice Kappa	Qualidade de interpretação
< 0,00	Muito ruim
0,00 - 0,20	Ruim
0,21 - 0,40	Moderada
0,41 - 0,60	Boa
0,61 - 0,80	Muito boa
0,81 - 1,00	Quase perfeita

### 5.7.3 Avaliação da Classificação Supervisionada a Partir dos Pontos de Controle

Com o trabalho de campo foram coletados 78 pontos de controle, sendo que as suas coordenadas e características estão apresentadas no anexo 4.

A tabela 25 apresenta a distribuição dos pontos de controle coletados em campo, por classe mapeada.

TABELA 25 - DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE

Classe	Total de pontos de controle
Solo exposto	12
Floresta nativa	10
Campo	18
Reflorestamento	24
Cidade	14
<b>TOTAL</b>	<b>78</b>

Na tabela 26 é apresentada a matriz de confusão para os pontos de controle coletados no trabalho de campo, nesta não existindo a classe “nuvem”, visto esta somente ter sido utilizada para a classificação.

---

<sup>8</sup> LANDIS, J.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, (33), 1977. p. 159-174.

TABELA 26. MATRIZ DE CONFUSÃO PARA OS PONTOS DE CONTROLE

Classe	S.exposto	M.nativa	Campo	Reflor.	Cidade	TOTAL
S.exposto	9	1	1		1	12
F.nativa	2	7		1		10
Campo	5	1	12			18
Reflorestamento	3	3	2	16		24
Cidade	4				10	14
TOTAL	23	12	15	17	11	78

Visto o trabalho de campo foi efetuado em abril/2001 e a imagem coletada em julho/1997, pode-se explicar o motivo de alguns dos pontos de controle durante a checagem de campo não coincidirem com o que estava sendo visualizado na classificação. Este tipo de confusão foi resolvido a partir de dados fornecidos por proprietários e/ou pelo engenheiro da empresa Klabin/Celucat, participante do trabalho de campo, proporcionando uma informação melhor do que havia na região na época de aquisição da imagem.

Citando-se como exemplo destas situações, algumas áreas de reflorestamentos de *Pinus sp.* que eram evidentes na imagem, mas na checagem de campo se apresentavam como “solo exposto”. A partir de informações da época de corte do reflorestamento foi possível constatar que a classificação supervisionada estava correta.

Como mencionado anteriormente, esta avaliação visou aumentar a confiabilidade final da classificação supervisionada, visto que o método anterior somente avalia a qualidade das amostras de treinamento utilizadas.

#### 5.7.3.1 Acurácia total

A acurácia total calculada a partir dos dados apresentados na tabela 26 foi de 69,23%, grande parte deste valor deve-se em parte as alterações ocorridas na área de estudos entre o período de aquisição da imagem de satélite (1 julho de 1997) até a data do trabalho de campo.

### 5.7.3.2 Kappa

Ao calcularmos a estatística Kappa para os dados da tabela 26 temos, que o índice Kappa = 0,61, um resultado muito próximo da acurácia total

Comparando-se este valor com os dados apresentados na tabela 24, obtivemos um resultado que a classificação supervisionada foi “muito boa”.

### 5.7.4 Diferença Entre as Classificações Supervisionadas

Como a APCS será comparada com a classificação supervisionada, necessitou-se efetuar a diferenças entre as classificações de ambas as épocas, a qual foi executada no software Arcview GIS 3.1, atribuindo-se valores para as classes mapeadas, isto é, para mesmas classes tem-se o mesmo valor (ver tab. 2). Então, com uma subtração simples pode-se obter as áreas que apresentaram mudanças no período e as áreas que não mudaram do ponto de vista da classificação supervisionada, o que pode ser considerado como uma “verdade terrestre”.

A tabela 27 apresenta o resultado desta diferença entre classificações, e evidencia o que já foi comentado anteriormente que a área da pesquisa sofreu um antropismo significativo, visto que mais que 51% da área passou por algum tipo de mudança no período analisado.

TABELA 27 - RESULTADO DA DIFERENÇA DAS CLASSIFICAÇÕES SUPERVISIONADAS

Descrição	Área (ha)	Porcentagem	Peso atribuído
Áreas com mudanças	544.682,25	51.62	100
Áreas sem mudanças	510.500,79	48.38	1

Como estabelecido na tabela 27 foi atribuído um peso para as classes de diferenças, isto é, para área de mudanças atribuiu-se o peso “100” e para as áreas sem mudanças o peso “1”. Estes pesos serão necessários quando da comparação desta “imagem diferença” com as segundas principais componentes.

Pela análise da tabela 27, pode-se notar que a utilização da diferença simples

entre as classificações supervisionadas, somente define as regiões onde não ocorreram mudanças e as regiões onde ocorreram mudanças, sem, contudo nesta última, definir se as mudanças foram em níveis de degradação ou de recuperação da vegetação, a imagem diferença é apresentada no anexo 5. Porém, este aspecto pode ser efetuado com a utilização da APCS.

Para caracterizar os tipos de mudanças ocorridas na região utilizando-se as classificações supervisionadas recorre-se a tabela 23, porém esta somente mostra a informação quantitativa, não posicionando a exata localização da mudança. Então para posicionar estas mudanças quanto à perda/ganho da vegetação utilizou-se os pesos atribuídos anteriormente às classes (tab. 2), assim com o cruzamento das classificações podemos verificar onde ocorreram as devidas mudanças.

Com a diferença entre as duas classificações foi gerado uma (1) classe, diferença igual a zero (0), onde não ocorreu mudanças e cinquenta e sete (57) classes de mudanças, sendo que estas são apresentadas na tabela 28.

Também na tabela 28 verifica-se a que na região ocorreram cinco (5) tipos de alterações, para facilitar o entendimento destes tipos de alterações a seguir é apresentado uma breve descrição:

- a) Sem mudanças: regiões onde não foi possível detectar alterações;
- b) Não mensurável: regiões onde não se pode mensurar as alterações visto que em uma das classificações temos pixels classificados como “sombra” ou “nulos”, corresponde a uma área de 22.011,21ha ou 1,99%;
- c) Antropismo: regiões onde ocorreram degradação da vegetação original, ou mudanças de uso do solo podendo-se citar como exemplo a alteração da classe “floresta nativa” para a classe “reflorestamento” ou também uma alteração da classe “reflorestamento” para a classe “solo exposto”;
- d) Recuperação: áreas onde ocorreram ganhos da vegetação nativa, um exemplo é as regiões de “solo exposto” de 1986 que passaram para a classe “campo” ou “floresta nativa” em 1997;



- e) Degradação: regiões onde ocorreram perda da vegetação nativa, exemplo disso são as regiões que passaram da classe “floresta nativa” em 1986 para a classes “solo exposto” ou “campo”.

TABELA 28 - RESULTADOS OBTIDOS PELA COMPARAÇÃO DAS CLASSIFICAÇÕES, UTILIZANDO OS PESOS ATRIBUÍDOS PARA CADA CLASSE

continua

Valor resultante	Descrição (1986→1997)	Hectares	%	Tipo Alteração
-10220	nulos → sombra	14,04	0,0013	Não mensurável
-10160	água → sombra	35,37	0,0032	Não mensurável
-10080	Solo exposto → sombra	441,36	0,0400	Não mensurável
-9920	cidade → sombra	27,72	0,0025	Não mensurável
-9600	floresta nativa → sombra	10.243,62	0,9277	Não mensurável
-8960	campo → sombra	481,41	0,0436	Não mensurável
-7680	reflorestamento → sombra	281,25	0,0255	Não mensurável
-5120	Capoeira → sombra	365,22	0,0331	Não mensurável
-2540	Nulos → reflorestamento	142,92	0,0129	Não mensurável
-2480	água → reflorestamento	69,84	0,0063	Recuperação
-240	solo exposto → reflorestamento	3.295,17	0,2984	Recuperação
-2240	cidade → reflorestamento	134,91	0,0122	Recuperação
-1920	floresta nativa → reflorestamento	68.630,67	6,2152	Antropismo
-1280	campo → reflorestamento	16.053,75	1,4538	Antropismo
-1260	nulos → campo	1.684,89	0,1526	Não mensurável
-1200	água → campo	42,57	0,0039	Antropismo
-1120	solo exposto → campo	11.319,48	1,0251	Recuperação
-960	cidade → campo	780,57	0,0707	Recuperação
-640	floresta nativa → campo	42.935,22	3,8882	Degradação
-620	nulos → floresta nativa	1.443,51	0,1307	Não mensurável
-560	água → floresta nativa	106,65	0,0097	Recuperação
-480	solo exposto → floresta nativa	17.752,77	1,6077	Recuperação
-320	cidade → floresta nativa	969,03	0,0878	Recuperação
-300	nulos → cidade	292,14	0,0265	Não mensurável
-240	água → cidade	2,43	0,0002	Antropismo
-160	solo exposto → cidade	1.385,01	0,1254	Antropismo
-140	nulos → solo exposto	2.396,25	0,2170	Não mensurável
-80	água → solo exposto	629,91	0,0570	Antropismo
-60	nulos → água	1,62	0,0001	Não mensurável
0	região sem mudanças	593.720,19	53,7675	Sem mudanças
60	água → nulos	0,90	0,0001	Não mensurável
80	solo exposto → água	849,51	0,0769	Antropismo
140	solo exposto → nulos	114,66	0,0104	Não mensurável
160	cidade → solo exposto	3.274,38	0,2965	Antropismo
240	cidade → água	2,97	0,0003	Antropismo
300	cidade → nulos	17,19	0,0016	Não mensurável
320	floresta nativa → cidade	1.189,26	0,1077	Degradação
480	floresta nativa → solo exposto	41.220,18	3,7329	Degradação
560	floresta nativa → água	378,72	0,0343	Degradação
620	floresta nativa → nulos	1.752,93	0,1587	Não mensurável
640	campo → floresta nativa	125.109,63	11,3300	Recuperação
960	campo → cidade	1.072,80	0,0972	Antropismo

TABELA 28 - RESULTADOS OBTIDOS PELA COMPARAÇÃO DAS CLASSIFICAÇÕES, UTILIZANDO OS PESOS ATRIBUÍDOS PARA CADA CLASSE

Valor resultante	Descrição (1986→1997)	Hectares	%	Tipo Alteração
1120	campo → solo exposto	51.619,68	4,6747	Antropismo
1200	campo → água	123,03	0,0111	Antropismo
1260	campo → nulos	1.765,17	0,1599	Não mensurável
1280	reflorestamento → campo	2.363,49	0,2140	Antropismo
1920	reflorestamento → floresta nativa	12.787,65	1,1581	Antropismo
2240	reflorestamento → cidade	46,44	0,0042	Antropismo
2400	reflorestamento → solo exposto	2.547,90	0,2307	Antropismo
2480	reflorestamento → água	21,15	0,0019	Antropismo
2540	reflorestamento → nulos	47,79	0,0043	Não mensurável
2560	capoeira → reflorestamento	3.906,27	0,3538	Antropismo
3840	capoeira → campo	23.298,84	2,1100	Degradação
4480	capoeira → floresta nativa	38.591,64	3,4949	Recuperação
4800	capoeira → cidade	473,94	0,0429	Antropismo
4960	capoeira → solo exposto	15.499,44	1,4036	Degradação
5040	capoeira → água	19,26	0,0017	Antropismo
5100	capoeira → nulos	461,25	0,0418	Não mensurável

## 5.8 ANÁLISE DAS MUDANÇAS ATRAVÉS DA TÉCNICA DE PRINCIPAIS COMPONENTES SELETIVAS

Como o objetivo principal do trabalho foi a avaliação das mudanças ocorridas na região utilizando-se a APCS, aqui são apresentados os resultados desta técnica comparando-a a classificação supervisionada apresentada anteriormente.

A APCS foi executada com as segundas principais componentes geradas a partir de cada par de bandas espectrais do Landsat 5 TM, a saber: TM 1 a TM5 e TM7.

### 5.8.1 Definição dos Limiares de Detecção de Mudanças

Nas segundas principais componentes testou-se limiares de 0,25 até 2,00 desvios padrão, em intervalos de 0,25 desvio padrão, o que gerou uma comparação de 8 diferentes limiares para cada banda analisada. Outros autores testaram diferentes limiares de detecção: SIRTOLI (1998) testou os valores de 0,5 até 1,5 desvios padrão e MALDONADO (1999) testou os seguintes limiares de classificação 1,0 e 2,0 desvios padrão.

Com os limiares de classificação definidos, fez-se a importação das segundas principais componentes de cada banda no software Arcview GIS 3.1 e com cada uma destas gerou-se um arquivo GRID, que é o tipo de arquivo utilizado no software para fazer análise espacial, com as mesmas características das imagens classificadas, isto é, com tamanho de cada célula 30x30 metros.

Nestes arquivos foram criados novos “campos” em suas tabelas, respectivamente um campo para cada desvio padrão testado, e nestes foram aplicados os limiares de detecção. Para esta definição utilizaram-se os valores apresentados na TABELA 29.

TABELA 29 - VALORES ATRIBUÍDOS AS SEGUNDAS PRINCIPAIS COMPONENTES PARA DIFFERENCIAR OS LIMIARES DE CLASSIFICAÇÃO.

Peso atribuído	Descrição
1	Região referente à recuperação da vegetação
2	Região referente ao limiar de detecção aplicado
3	Região referente à degradação da vegetação

A partir dos pesos atribuídos à “imagem diferença” e os pesos atribuídos para os diferentes limiares de detecção nas segundas principais componentes, foi utilizado o módulo “Spatial Analyst” do Arcview GIS 3.1, para efetuar uma multiplicação simples das imagens a serem comparadas, o que resultou em 48 novas “imagens detecção”, sendo que estas apresentavam os valores conforme a tabela 31. Como exemplo, no caso da imagem diferença apresentar peso “100” e o mesmo pixel da segunda principal componente apresentar o peso “2”, o resultado da multiplicação será “200”.

Pela visualização da tabela 30, verifica-se que se utilizando a comparação das segundas principais componentes com a “imagem diferença” gera três (03) tipos de confusão, isto é:

Confusão 1 – na imagem diferença temos uma região sem mudanças e na segunda principal componente temos uma área de recuperação da vegetação;

Confusão 2 – na imagem diferença temos uma região sem mudanças e na segunda principal componente temos uma área de degradação da vegetação;

Confusão 3 – na imagem diferença temos uma região de mudanças e na segunda principal componente temos uma área sem mudanças;

TABELA 30 - VALORES RESULTANTES DA MULTIPLICAÇÃO EFETUADA ENTRE A "IMAGEM DIFERENÇA" E AS SEGUNDAS PRINCIPAIS COMPONENTES SELETIVAS.

Resultados da multiplicação	Pesos	Resultado
1	ID = 1, 2ªPC = 1	Confusão 1
2	ID = 1, 2ªPC = 2	Regiões sem mudanças
3	ID = 1, 2ªPC = 3	Confusão 2
100	ID = 100, 2ªPC = 1	Regiões com mudanças / recuperação
200	ID = 200, 2ªPC = 2	Confusão 3
300	ID = 300, 2ªPC = 3	Regiões com mudanças / degradação

ID = Imagem diferença      2ªPC = Segunda principal componente comparada

### 5.8.2 Resultados da Comparação das Duas Técnicas

As tabelas 5.29 até 5.34, representam os resultados obtidos pela diferença das classificações supervisionadas para as duas épocas.

Uma análise preliminar dos dados contidos nas tabelas evidencia que quanto menor o limiar de detecção utilizado identifica-se mais áreas de mudanças e vice-versa. É por este motivo que a escolha de um limiar de detecção deve ser feita com o máximo cuidado possível por parte do usuário final, a fim de estabelecer o adequado valor de limiar de detecção.

Comparando-se os resultados de percentual de pixels classificados corretos e errados, as bandas que apresentaram os melhores resultados foram às bandas TM5, TM7 e TM3, com 63,73 %, 63,45 % e 63,06 % respectivamente de pixels classificados corretamente, este percentual de acerto foi conseguido utilizando-se um limiar de detecção de 0,75 desvio padrão.

SIRTOLI (1998), analisando as bandas TM3, TM4 e TM5, concluiu que a com limiares de detecção de 1,00 desvio padrão, as bandas banda TM3 e TM5 apresentaram os melhores resultados. Porém a banda TM3 caracterizou melhor as

mudanças ocorridas em campo no sentido de perda/degradação da vegetação.

GOMES e MALDONADO (1998), trabalhando com vulnerabilidade à perda de solo em ambiente semi-árido constataram que não foram observadas diferenças importantes entre as imagens detecção geradas a partir das bandas 3 e 4 do TM, concluindo assim que para a região do semi-árido, tanto a utilização da banda TM3 como da banda TM4 servem para a detecção de mudanças utilizando análise por principais componentes.

Analizando-se agora somente as bandas com melhores resultados, tem-se que do total de pixels classificados erroneamente para a banda TM5, 4,29 % pertence à categoria “Confusão 1”, 9,57 % pertence à categoria “Confusão 2” e 22,41 % pertence à categoria “Confusão 3”. Para a banda TM7, 4,88 % pertence à categoria “Confusão 1”, 8,51 % pertence à categoria “Confusão 2” e 23,16 % pertence à categoria “Confusão 3”. Já a banda TM3, 5,33 % pertence à categoria “Confusão 1”, 7,86 % pertence à categoria “Confusão 2” e 23,75 % pertence à categoria “Confusão 3”.

Os resultados apresentados acima evidenciam que a maior parte das confusões ocorreu na categoria “Confusão 3”, isto é, áreas onde foram detectadas mudanças com a utilização da classificação supervisionada e não mudança com a APCS utilizando-se um limiar de detecção de 0,75 desvio padrão.

Ao comparar os melhores resultados obtidos com o limiar de detecção de 0,75 desvio padrão, com o limiar de 1,00 desvio padrão, observa-se que para as bandas TM3 e TM5 a utilização de qualquer um destes limiares não interfere em muito nos resultados, 0,36% e 0,55% respectivamente. Já com a utilização do limiar de detecção 1,00 desvio padrão para a banda TM7, tem uma perda de 0,98% dos pixels classificados corretos.

Entretanto esta diferença obtida com a utilização dos limiares de detecção de 0,75 ou 1,00 desvio padrão, não interfere expressivamente nos resultados finais, tendo-se assim que a utilização de quaisquer uma das bandas, TM3, TM5 ou TM7, para a detecção automática das mudanças, serão obtidos resultados satisfatórios.

Porém como a banda TM5 foi a que apresentou a maior correlação recomenda-se aqui a utilização desta banda, cujo resultado é apresentado no anexo 6.

TABELA 31 - COMPARAÇÃO DA APCS DA BANDA TM1 COM A DIFERENÇA DAS CLASSIFICAÇÕES SUPERVISIONADAS

Limiar de mudança – 0,25 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	208.569,98	19,77	52,79	47,21
2	140.655,96	13,33		
3	195.458,31	18,52		
100	224.126,37	21,24		
200	941.07,15	8,92		
300	192.267,27	18,22		
Limiar de mudança – 0,50 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	148.367,07	14,06	55,81	44,19
2	261.829,80	24,81		
3	134.485,38	12,75		
100	176.523,93	16,73		
200	183.482,46	17,39		
300	150.494,40	14,26		
Limiar de mudança – 0,75 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	99.429,21	9,42	57,83	42,17
2	356.698,08	33,80		
3	88.554,96	8,39		
100	135.879,48	12,88		
200	256.962,15	24,35		
300	117.659,16	11,15		
Limiar de mudança – 1,00 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	57.160,26	5,42	58,17	41,83
2	429.463,26	40,70		
3	58.058,73	5,50		
100	92.885,67	8,80		
200	326.192,49	30,91		
300	91.422,63	8,66		
Limiar de mudança – 1,25 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	30.406,23	2,88	57,92	42,08
2	479.136,60	45,41		
3	35.139,42	3,33		
100	64.122,03	6,08		
200	378.461,16	35,87		
300	67.917,60	6,44		
Limiar de mudança – 1,50 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	14.560,83	1,38	57,21	42,79
2	507.710,25	48,12		
3	22.411,17	2,12		
100	43.736,04	4,14		
200	414.525,06	39,28		
300	52.239,69	4,95		
Limiar de mudança – 1,75 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	6.135,48	0,58	55,91	44,09
2	524.650,05	49,72		
3	13.896,72	1,32		
100	25.944,30	2,46		
200	445.171,23	42,19		
300	39.385,26	3,73		
Limiar de mudança – 2,00 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	2.738,97	0,26	54,90	45,10
2	533.777,31	50,59		
3	8.165,97	0,77		
100	16.805,34	1,59		
200	465.011,91	44,07		
300	28.683,54	2,72		

TABELA 32 - COMPARAÇÃO DA APCS DA BANDA TM2 COM A DIFERENÇA DAS CLASSIFICAÇÕES SUPERVISIONADAS

Limiar de mudança – 0,25 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	190.787,85	18,08	54,60	45,40
2	161.301,15	15,29		
3	192.593,25	18,25		
100	238.924,80	22,64		
200	95.698,26	9,07		
300	175.877,73	16,67		
Limiar de mudança – 0,50 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	124.831,44	11,83	58,11	41,89
2	282.201,84	26,74		
3	137.648,97	13,05		
100	188.670,60	17,88		
200	179.512,92	17,01		
300	142.317,27	13,49		
Limiar de mudança – 0,75 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	77.675,49	7,36	59,41	40,59
2	376.880,40	35,72		
3	90.126,36	8,54		
100	137.218,77	13,00		
200	260.514,18	24,69		
300	112.767,84	10,69		
Limiar de mudança – 1,00 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	42.508,80	4,03	59,59	40,41
2	435.891,87	41,31		
3	66.281,58	6,28		
100	101.178,90	9,59		
200	317.632,41	30,10		
300	91.689,48	8,69		
Limiar de mudança – 1,25 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	22.118,40	2,10	58,44	41,56
2	481.710,78	45,65		
3	40.853,07	3,87		
100	64.974,06	6,16		
200	375.550,92	35,59		
300	69.975,81	6,63		
Limiar de mudança – 1,50 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	10.983,87	1,04	57,46	42,54
2	507.425,67	48,09		
3	26.272,71	2,49		
100	44.472,60	4,21		
200	411.627,96	39,01		
300	54.400,23	5,16		
Limiar de mudança – 1,75 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	5.367,42	0,51	56,13	43,87
2	523.660,77	49,63		
3	15.654,06	1,48		
100	27.843,21	2,64		
200	441.927,99	41,88		
300	40.729,59	3,86		
Limiar de mudança – 2,00 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	2.531,43	0,24	55,01	44,99
2	533.090,70	50,52		
3	9.060,12	0,86		
100	16.887,87	1,60		
200	463.115,43	43,89		
300	30.497,49	2,89		

TABELA 33 - COMPARAÇÃO DA APCS DA BANDA TM3 COM A DIFERENÇA DAS CLASSIFICAÇÕES SUPERVISIONADAS

Limiar de mudança – 0,25 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	208.897,38	19,80	54,13	45,87
2	153.809,01	14,58		
3	181.975,86	17,25		
100	231.435,63	21,93		
200	93.190,23	8,83		
300	185.874,93	17,62		
Limiar de mudança – 0,50 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	123.596,73	11,71	59,73	40,27
2	295.517,25	28,01		
3	125.568,27	11,90		
100	182.670,84	17,31		
200	175.795,83	16,66		
300	152.034,12	14,41		
Limiar de mudança – 0,75 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	56.228,04	5,33	63,06	36,94
2	405.509,31	38,43		
3	82.944,90	7,86		
100	136.520,46	12,94		
200	250.565,49	23,75		
300	123.414,84	11,70		
Limiar de mudança – 1,00 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	29.585,88	2,80	62,70	37,30
2	461.142,81	43,70		
3	53.953,56	5,11		
100	101.761,20	9,64		
200	310.062,69	29,38		
300	98.676,90	9,35		
Limiar de mudança – 1,25 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	15.205,14	1,44	61,11	38,89
2	496.465,29	47,05		
3	33.011,82	3,13		
100	72.077,58	6,83		
200	362.184,93	34,32		
300	76.238,28	7,23		
Limiar de mudança – 1,50 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	7.443,54	0,71	59,38	40,62
2	518.714,73	49,16		
3	18.523,98	1,76		
100	49.736,79	4,71		
200	402.641,19	38,16		
300	58.122,81	5,51		
Limiar de mudança – 1,75 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	3.804,75	0,36	57,68	42,32
2	530.877,96	50,31		
3	9.999,54	0,95		
100	33.860,61	3,21		
200	432.732,42	41,01		
300	43.907,76	4,16		
Limiar de mudança – 2,00 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	2.188,44	0,21	56,16	43,84
2	536.827,14	50,88		
3	5.666,67	0,54		
100	22.889,79	2,17		
200	454.738,41	43,10		
300	32.872,59	3,12		



TABELA 34 - COMPARAÇÃO DA APCS DA BANDA TM4 COM A DIFERENÇA DAS CLASSIFICAÇÕES SUPERVISIONADAS

Limiar de mudança – 0,25 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	183.913,74	17,43		
2	127.910,61	12,12		
3	232.857,90	22,07		
100	222.291,36	21,07	50,64	49,36
200	104.097,06	9,87		
300	184.112,37	17,45		
Limiar de mudança – 0,50 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	132.147,09	12,52		
2	245.742,39	23,29		
3	166.792,77	15,81		
100	174.649,05	16,55	52,56	47,44
200	201.645,27	19,11		
300	134.206,47	12,72		
Limiar de mudança – 0,75 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	86.256,99	8,17		
2	337.820,13	32,02		
3	120.605,13	11,43		
100	126.176,76	11,96	53,30	46,70
200	285.885,63	27,09		
300	98.438,40	9,33		
Limiar de mudança – 1,00 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	58.434,75	5,54		
2	405.063,09	38,39		
3	81.184,41	7,69		
100	93.431,79	8,85	53,65	46,35
200	349.434,18	33,12		
300	67.634,82	6,41		
Limiar de mudança – 1,25 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	36.343,53	3,44		
2	451.714,23	42,81		
3	56.624,49	5,37		
100	65.217,78	6,18	53,54	46,46
200	397.218,15	37,64		
300	48.064,86	4,56		
Limiar de mudança – 1,50 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	22.615,47	2,14		
2	485.961,84	46,05		
3	36.104,94	3,42		
100	47.359,44	4,49	53,57	46,43
200	431.215,83	40,87		
300	31.925,52	3,03		
Limiar de mudança – 1,75 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	12.837,87	1,22		
2	507.254,13	48,07		
3	24.590,25	2,33		
100	33.805,62	3,20	53,36	46,64
200	454.733,01	43,10		
300	21.962,16	2,08		
Limiar de mudança – 2,00 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	6.410,70	0,61		
2	522.326,70	49,50		
3	15.944,85	1,51		
100	23.298,12	2,21	53,05	46,95
200	473.025,24	44,83		
300	14.177,43	1,34		

TABELA 35 - COMPARAÇÃO DA APCS DA BANDA TM5 COM A DIFERENÇA DAS CLASSIFICAÇÕES SUPERVISIONADAS

Limiar de mudança – 0,25 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	140.808,06	13,34	56,23	43,77
2	166.470,12	15,78		
3	237.404,07	22,50		
100	263.939,13	25,01		
200	83.608,20	7,92		
300	162.953,46	15,44		
Limiar de mudança – 0,50 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	83.324,97	7,90	61,74	38,26
2	305.501,76	28,95		
3	155.855,52	14,77		
100	217.193,58	20,58		
200	164.493,27	15,59		
300	128.813,94	12,21		
Limiar de mudança – 0,75 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	45.291,33	4,29	63,73	36,27
2	398.421,63	37,76		
3	100.969,29	9,57		
100	170.868,78	16,19		
200	236.480,49	22,41		
300	103.151,52	9,78		
Limiar de mudança – 1,00 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	21.149,73	2,00	63,18	36,82
2	461.898,99	43,77		
3	61.633,53	5,84		
100	125.017,38	11,85		
200	305.708,31	28,97		
300	79.775,10	7,56		
Limiar de mudança – 1,25 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	9.907,92	0,94	61,49	38,51
2	496.085,85	47,01		
3	38.688,48	3,67		
100	90.546,57	8,58		
200	357.750,09	33,90		
300	62.204,13	5,90		
Limiar de mudança – 1,50 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	4.119,03	0,39	59,32	40,68
2	516.650,04	48,96		
3	23.913,18	2,27		
100	61.410,78	5,82		
200	401.236,65	38,03		
300	47.853,36	4,54		
Limiar de mudança – 1,75 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	1.839,96	0,17	57,46	42,54
2	528.773,40	50,11		
3	14.068,89	1,33		
100	42.033,06	3,98		
200	433.001,79	41,04		
300	35.465,94	3,36		
Limiar de mudança – 2,00 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	769,77	0,07	55,81	44,19
2	535.212,45	50,72		
3	8.700,03	0,82		
100	26.891,82	2,55		
200	456.834,06	43,29		
300	26.774,91	2,54		

TABELA 36 - COMPARAÇÃO DA APCS DA BANDA TM7 COM A DIFERENÇA DAS CLASSIFICAÇÕES SUPERVISIONADAS

Limiar de mudança – 0,25 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	177.052,59	16,78	57,43	42,57
2	176.606,82	16,74		
3	191.022,84	18,10		
100	258.235,38	24,47		
200	81.101,61	7,69		
300	171.163,80	16,22		
Limiar de mudança – 0,50 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	99.649,17	9,44	62,17	37,83
2	310.082,67	29,39		
3	134.950,41	12,79		
100	204.674,49	19,40		
200	164.615,31	15,60		
300	141.210,99	13,38		
Limiar de mudança – 0,75 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	51.507,36	4,88	63,45	36,55
2	403.374,42	38,23		
3	89.800,47	8,51		
100	154.321,47	14,63		
200	244.363,05	23,16		
300	111.816,27	10,60		
Limiar de mudança – 1,00 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	24.463,53	2,32	62,47	37,53
2	457.657,92	43,37		
3	62.560,80	5,93		
100	111.077,37	10,53		
200	309.018,87	29,29		
300	90.404,55	8,57		
Limiar de mudança – 1,25 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	10.800,81	1,02	60,59	39,41
2	492.435,27	46,67		
3	41.446,17	3,93		
100	75.800,88	7,18		
200	363.562,29	34,45		
300	71.137,62	6,74		
Limiar de mudança – 1,50 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	4.815,90	0,46	58,74	41,26
2	514.926,09	48,80		
3	24.940,26	2,36		
100	51.547,68	4,89		
200	405.632,97	38,44		
300	53.320,14	5,05		
Limiar de mudança – 1,75 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	2.204,37	0,21	57,13	42,87
2	526.931,46	49,94		
3	15.546,42	1,47		
100	34.926,21	3,31		
200	434.604,33	41,19		
300	40.970,25	3,88		
Limiar de mudança – 2,00 desvio padrão				
Peso resultante	Área (ha)	Porcentagem	Corretos	Errados
1	1.033,38	0,10	55,71	44,29
2	534.177,81	50,62		
3	9.471,06	0,90		
100	22.851,72	2,17		
200	456.831,99	43,29		
300	30.817,08	2,92		

## 6 CONCLUSÕES

Como conclusões da presente dissertação tem-se:

- a) Na correção geométrica obteve-se um erro de 18,94 metros, quando da correção imagem para mapa e 19,80 metros quando da correção imagem para imagem, respectivamente imagem de 1997 e 1986;
- b) A utilização das três primeiras principais componentes em substituição das bandas originais, para a classificação supervisionada, foi possível visto que os autovalores acumulados para estas três primeiras principais componentes de 1986 e 1997 foram 99,0034% e 98,6985% respectivamente;
- c) Quando da comparação dos pares de bandas, APCS, o par com maior correlação foi o formado pela banda TM5;
- d) A composição colorida formada pelas três primeiras principais componentes apresentou-se melhor para a diferenciação visual das classes “reflorestamento” e “floresta nativa” sem, contudo perder a qualidade na diferenciação das demais classes mapeadas;
- e) Utilizando-se as três primeiras principais componentes formadas a partir da imagem TM original, possibilitou-se a diferenciação de oito classes de uso do solo, “água”, “floresta nativa”, “campo”, “reflorestamento”, “solo exposto”, “cidade”, “capoeira”, “sombra” e mais a classe “nuvem”;
- f) A acurácia total avaliada através da matriz de confusão das áreas de treinamento foi de 91,72% para 1986 e de 94,16% para 1997, enquanto que a estatística Kappa foi de 0,91 para 1986 e de 0,93 para 1997;
- g) A acurácia total, avaliada através dos pontos de controle coletados em campo, para o ano de 1997 foi de 69,23% e a estatística Kappa para estes mesmos dados foi de 0,61;

- h) Comparando-se os produtos das duas classificações supervisionadas tem-se que para o período considerado de 1986 a 1997, 51,62% da região sofreu algum tipo de mudança na paisagem;
- i) A utilização de pesos para a comparação das áreas de mudanças e não mudanças facilitaram a visualização das mudanças ocorridas, a partir destes foi possível identificar 58 classes diferentes, 1 de não mudança e 57 de mudanças;
- j) Foi possível diferenciar estas 58 classes em 5 tipos diferentes, sendo 1 classe como sem mudanças, 21 classes como não mensuráveis, 20 classes como antropismo, 10 classes como recuperação e outras 6 classes como degradação;
- k) Para a APCS, utilizaram-se três classes, a saber: recuperação da vegetação, não mudança e degradação da vegetação;
- l) Quando da comparação da técnica da APCS com a “imagem diferença” obteve-se 6 classes, sendo elas, 3 classes de confusão, 1 sem mudanças, 1 com mudança/recuperação e 1 com mudança/degradação;
- m) A utilização de um limiar de detecção de 0,75 desvio padrão para a APCS apresentou os melhores resultados quanto à classificação correta da dinâmica da paisagem;
- n) A banda que apresentou os melhores resultados para a detecção da dinâmica da paisagem utilizando-se o método da APCS foi a banda TM5 com 63,73% dos pixels classificados corretamente;
- o) A utilização da técnica da APCS para a região de estudos facilita a identificação das mudanças bruscas, tais como, uma área de floresta que passou a ser uma pastagem ou uma área de pastagem que passou a ser floresta;

## REFERÊNCIAS

- ACITS. **What is a good kappa coefficient?** Disponível em: <<http://www.utexas.edu/cc/faqs/stat/general/gen27.html>>. Acesso em: 18 out. 2000.
- AMARAL, G. Princípios de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1990, Manaus. **Anais...** Manaus. [s.n], 1990. p. 27 – 36.
- ANEEL. **Sistema de Informações Georreferenciadas de Energia e Hidrologia – HIDROGEO.** (Edição comemorativa do Dia Mundial da Água). Brasília, 2000. 8 CD-ROM.
- AZEVEDO, V. R. *et al.* Monitoramento da ação antrópica nos ambientes fitoecológicos no interior e no entorno da Floresta Nacional do Tapajós. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. p. 15 – 20.
- BEZERRA, P. E. L. Processamento digital de imagem TM do Landsat-5 da região de Belém-Benevides (PA), através do SITIM-150. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. p. 167 – 173.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment.** Oxford: Clarendon, 1986.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. Princípios básicos de geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura.** 2ª ed. – Brasília: EMBRAPA-SPI / EMBRAPA-CPAC, 1998a. p. 3 – 11.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. Operações de análise geográfica. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura.** 2ª ed. – Brasília: EMBRAPA-SPI / EMBRAPA-CPAC, 1998b. p. 67 – 91.
- CARMELO, A. C.; CARVALHO, A. S. Realce digital para o Greenstone Belt de Crixás, Goiás. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. p. 182 – 187.
- CARRILHO, J. Z.; SOARES, J. V.; VALÉRIO FILHO, M. Detecção automática de mudanças como recurso auxiliar no monitoramento da cobertura do terreno. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. 1 CD-ROM.
- CHAVEZ, P. S.; KWARTENG, A. Y. Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using selective principal component analysis. **Photogrammetric Engineering e Remote Sensing.** Falls Church, v. 55, n. 3, 1989. p. 339 – 348.
- CHAVEZ, P. S.; MACKINNON, D. J. Automatic detection of vegetation changes in Southwess United States using remotely sensed images. **Photogrammetric Engineering e Remote Sensing.** Falls Church, v. 60, n. 5, 1994. p. 571 – 583.
- CHEN, S. C. **Informações espectrais e texturais de vegetação da região amazônica a partir de dados do sensor TM do satélite Landsat.** São Paulo. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, 1996.

COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scale. **Educational and Psychological Measurement**, n. 20, 1960. p. 37 – 46.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: UNICAMP, 1992. 170p.

EASTMAN, J. R.; FULK, M. Long sequence time series evaluation using standardized principal components. **Photogrammetric Engineering e Remote Sensing**. Falls Church, v. 59, n. 6, 1993. p. 991 – 996.

EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows: user's guide**. Worcester: Clark University, 1995.

EDEN, M. J. The management of renewable resources in tropics: the use of remote sensing. In: EDEN, M. J.; PARRY, J. T. (Ed.). **Remote sensing and tropical land management**. London: J. Wiley, 1986. p. 3 – 15.

FARIA, K.; KRUG, T. SHIMABUKURO, Y. E. Aplicação de técnicas de geoprocessamento no monitoramento da cobertura florestal na área de influência da ferrovia Carajás-São Luiz. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. p. 61 – 72.

FLEITH, S. R. **Dados do levantamento sistemático das condições atmosféricas da região sudoeste de Santa Catarina coletados pela empresa IGARAS Papel e Celulose**. Santa Catarina, 2001.

FORSHAW, M. R. B. *et al.* Spatial resolution of remotely sensed imagery: a review paper. **International Journal of Remote Sensing**, Basing Stoke, v. 4, n. 3, 1983. p. 497 – 520.

FUNG, T.; LEDREW, E. Application of principal components analysis to change detection. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, v. 53, n. 12, 1987. p. 1649 – 1658.

GREEN, K.; KEMPLA, D.; LACKEY, L. Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, v. 60, n. 3, 1994. p. 331 – 337.

GSi - GRUPO DE SISTEMAS INTELIGENTES – UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ **Análise de componentes principais - PCA**. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/ia/pca/>>. Acesso em: 01 mai. 2001.

GOMES A. R.; MALDONADO, F. D. Análise de componentes principais em imagens multitemporais TM/Landsat como subsídio aos estudos de vulnerabilidade à perda de solo em ambiente semi-árido. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1998. 1 CD-ROM.

GONZÁLEZ, B. Z. E.; VILLARROEL, G.; RUIZ, G. Procesamiento digital de imágenes de satélite como fuente de información sobre uso y cobertura de la tierra en un área de la Cuenca del Lago de Valencia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. p. 140 – 151.

GUIMARÃES FILHO, H. A.; CRÓSTA, A. P. Digitalização de mapas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993, v. 2, p. 351 – 358.

HERNANDEZ FILHO, P.; FARIA, K. Avaliação de áreas indígenas utilizando-se dados TM/Landsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., 1990, Manaus. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1990, v. 1, p.61 – 67.

HIROSAWA, Y.; MARSH, S. E.; KLIMAN, D. H. Application of standardized principal component analysis to land-cover characterization using multitemporal AVHRR data. **Remote Sensing of Environment**, New York, n. 58, 1996. p. 267-281.

HOFFER, R. G. Biological and physical considerations in applying computer aided analysis techniques to remote sensed data. In: SWAIN, P. H.; DAVIS, S. M. (Ed.) **Remote sensing: the quantitative approach**. New York: McGraw-Hill, 1978. 276p.

HOWARTH, P. J.; WICKWARE, G. M. Procedures for change detection using Landsat digital data. **International Journal of Remote Sensing**, Basing Stoke, v.2, n.3, 1981. p.277-291.

HUMPHREYS, R. D. Aplicação de estatística multivariada no processamento digital de imagens. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., 1990, Manaus. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1990, v. 1, p.135 – 141.

INPE. **Manual do SPRING** release 3.3, 1998.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1986. 376 p.

JIAJU, L. Development of principal component analysis applied to multitemporal Landsat TM data. **International Journal of Remote Sensing**, Basing Stoke, v.9, n.12, 1988. p.1895-1907.

KIRCHNER, F. F.; BERNARDI, D.; YAMAJI, F. M. Processamento digital de imagem e técnicas de SIG na avaliação da classificação de níveis de ataque de *Sirex noctilio*. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, IV, 2000, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 2000. 1 CD-ROM.

LANDGREBE, D. A. The quantitative approach: concept and rationale In: SWAIN, P. H.; DAVIS, S. M. (Ed.). **Remote Sensing: the quantitative approach**. USA McGraw-Hill, 1978. p. 1 – 20.

LAPOLLI, E. M.; ALVES, A. R.; BARCIA, R. M. Classificação de imagens digitais: comparação entre vários métodos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. p. 373 – 380.

LEE, D. C. L.; SHIMABUKURO, Y. E.; HERNANDEZ FILHO, P. Análise de componentes principais para o monitoramento de áreas reflorestadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., 1990, Manaus. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1990. p. 48 – 60.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: Wiley, 1979. 612 p.

MALDONADO, F. D. **Análise por componentes principais (ACP) na caracterização da dinâmica do uso da terra em área do Semi-Árido brasileiro: Quixaba-PE**. São José dos Campos, 1999. 134f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.



MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. New York: J. Wiley e sons. 1987. 352p.

MEDEIROS, J. S. **Desenvolvimento metodológico para detecção de alterações da cobertura vegetal através da análise de dados MSS Landsat**. São José dos Campos, 1987. 127f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

MEDEIROS, J. S.; AMARO, E. S. Mapeamento das alterações da cobertura vegetação natural: novo procedimento metodológico utilizando-se os sistemas SITIM/SGI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., 1990, Manaus. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1990. p.91 – 96.

MENEGUETTE, A. **Introdução ao geoprocessamento**. Courseware em Ciências Cartográficas - Campus de Presidente Prudente. Disponível em: <[http://www.prudente.unesp.br/dcartog/arlete/hp\\_arlete/courseware/intgeo.htm](http://www.prudente.unesp.br/dcartog/arlete/hp_arlete/courseware/intgeo.htm)>. Acesso em 13 fev. 2001.

MICHENER, W. K.; HOUHOULIS, P. F. Detection of vegetation changes associated with extensive flooding in a forested ecosystem. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, v. 63, n. 12, 1997. p. 1363 – 1374.

MUCHONEY, D. M.; HAACK, B. N. Change detection of monitoring forest defoliation. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, v. 60, n. 10, 1994. p. 1243 – 1251.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 2 ed. São Paulo: E. Blücher, 1989. 308p.

PEREIRA, M. N.; KURKDJIAN, M. L. N. O.; FORESTI, C. **Cobertura e uso da terra através de sensoriamento remoto**. São José dos Campos: INPE, 1989. 118p.

RICHARDS. J. A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 2.ed. Australia: Springer-Veriag, 1993. 340p.

SANTOS, J. R. Abordagem integrada das imagens satelitárias para o monitoramento do desflorestamento da Amazônia Brasileira. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL. 2., 1994, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994. p. 61 – 67.

SINGH, A.; HARRISON, A. Standardized principal components. **International Journal of Remote Sensing**, v.6, n.6, 1985. p. 883 – 896.

SIRTOLI, A. E. **Detecção da expansão de área de mineração através de técnicas de sensoriamento remoto**. Curitiba, 1998. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná.

UEBERSAX, J. **Kappa Coefficients: a critical appraisal**. Disponível em: <<http://ourworld.compuserve.com/homepages/jsuebersax/kappa.htm>>. Acesso em: 18 out. 2000.

VENTURIERI A.; FUNAKI, R. S.; MEDEIROS, J. S. Mapeamento da cobertura vegetal e uso da terra na região de Tucuruí através da classificação digital supervisionada de imagens TM Landsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., 1990, Manaus. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1990. p. 97 – 102.

WATRIN, O. dos S. **Estudo da dinâmica na paisagem da Amazônia Oriental através de técnicas de geoprocessamento**. São José dos Campos, 1994. 153f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

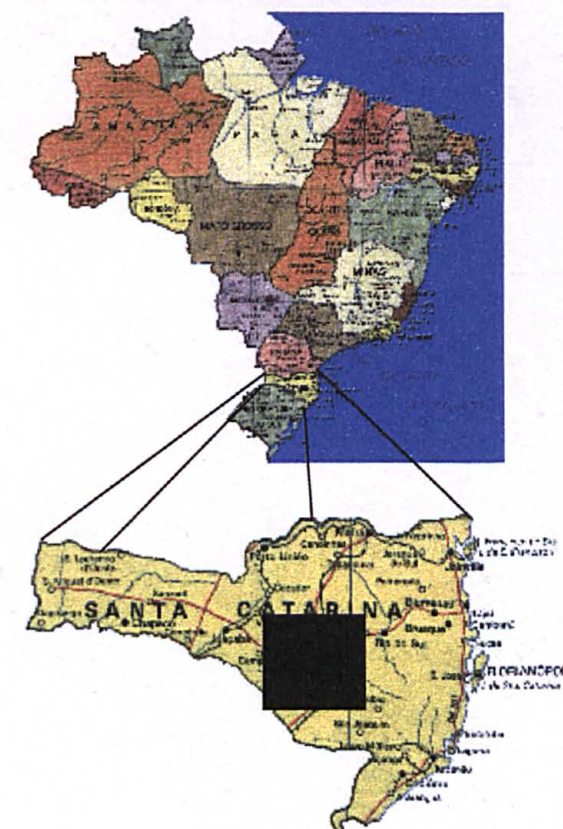
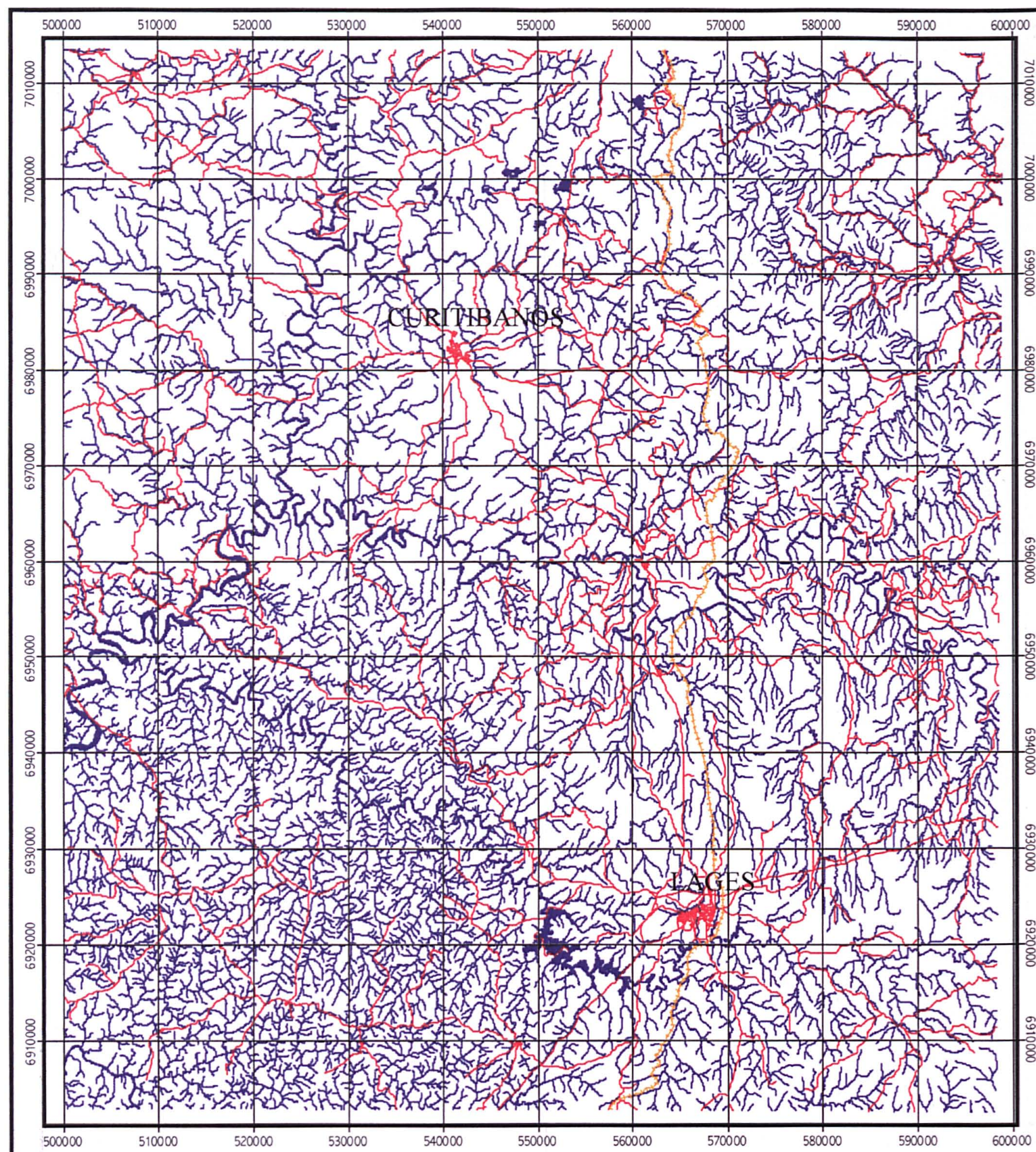
WATRIN, O. dos S.; VALÉRIO FILHO, M.; SANTOS, J. R. dos. Transformação por componentes principais e por decorrelação de bandas aplicadas à caracterização de feições da paisagem do nordeste paraense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. 1 CD-ROM.

## ANEXOS

ANEXO 1 -	MAPA PLANIMÉTRICO OBTIDO DA VETORIZAÇÃO DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS .....	93
ANEXO 2 -	RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA UTILIZANDO-SE AS TRÊS PRIMEIRAS PRINCIPAIS COMPONENTES PARA O ANO DE 1986. ....	94
ANEXO 3 -	RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA UTILIZANDO-SE AS TRÊS PRIMEIRAS PRINCIPAIS COMPONENTES PARA O ANO DE 1997. ....	95
ANEXO 4 -	RELAÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE COLETADOS NO TRABALHO DE CAMPO.....	96
ANEXO 5 -	RESULTADO DA DIFERENÇA ENTRE AS CLASSIFICAÇÕES SUPERVISIONADAS DE 1986 E 1997.....	98
ANEXO 6 -	RESULTADO DA ANÁLISE POR PRINCIPAIS COMPONENTES SELETIVAS DA BANDA TM 5, COM UM LIMAR DE MUDANÇA DE 0,75 DESVIO PADRÃO. ....	99

**ANEXO 1 - MAPA PLANIMÉTRICO OBTIDO DA VETORIZAÇÃO DAS  
CARTAS TOPOGRÁFICAS**





## Legenda

-  Malha viária
-  Hidrografia
-  Ferrovia



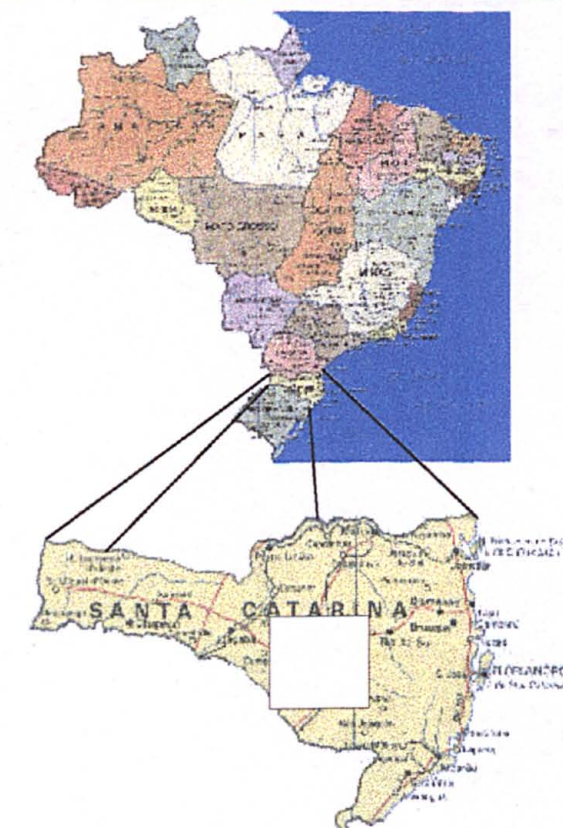
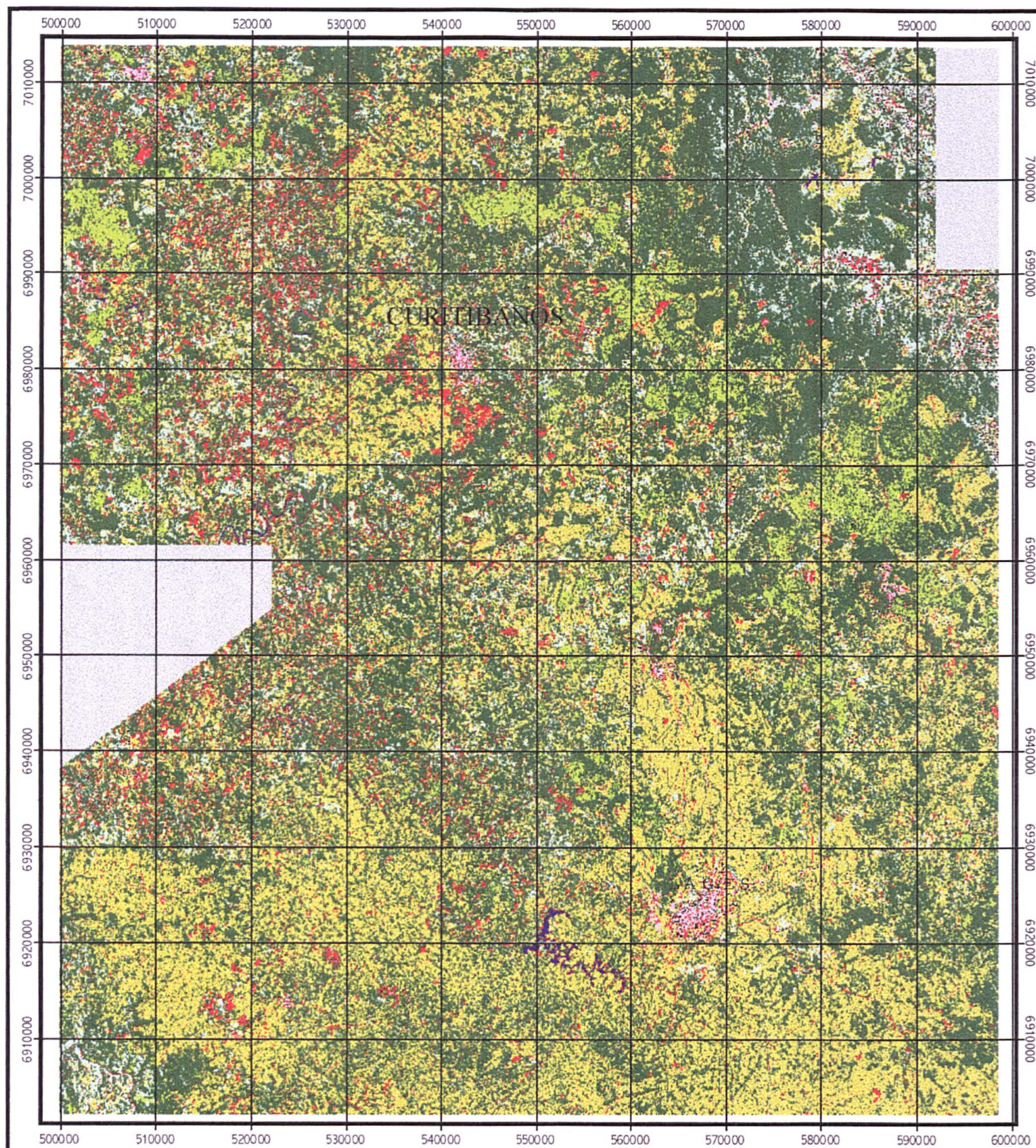
Escala 1:500.000  
Projeção UTM

Mapa planimétrico obtido da vetorização  
das cartas topográficas



**ANEXO 2 - RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA  
UTILIZANDO-SE AS TRÊS PRIMEIRAS PRINCIPAIS  
COMPONENTES PARA O ANO DE 1986.**





### Legenda

	Campo	353.855,70 ha
	Capoeira	82.615,86 ha
	Cidade	6.514,83 ha
	Nuvem	49.103,82 ha
	Floresta Nativa	504.603,09 ha
	Nulos	5.997,69 ha
	Reflorestamento	40.092,66 ha
	Solo exposto	59.433,21 ha
	Água	2.018,70 ha



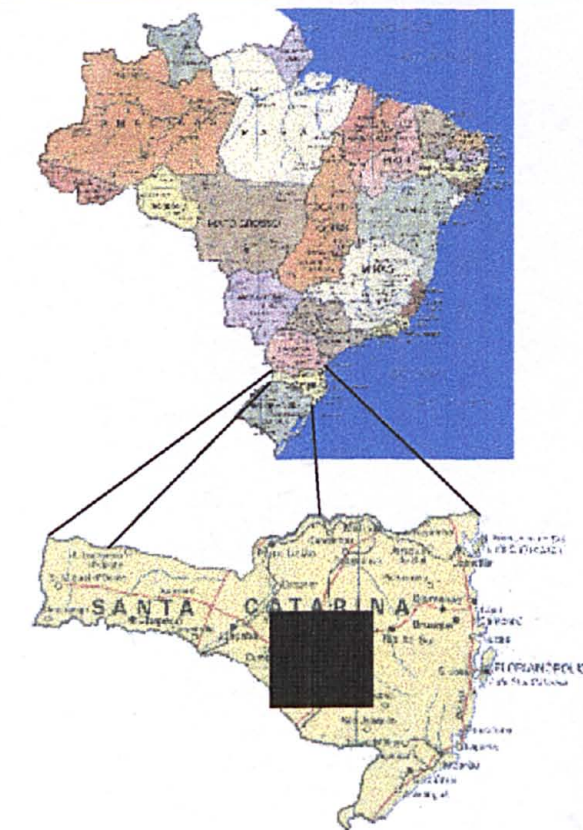
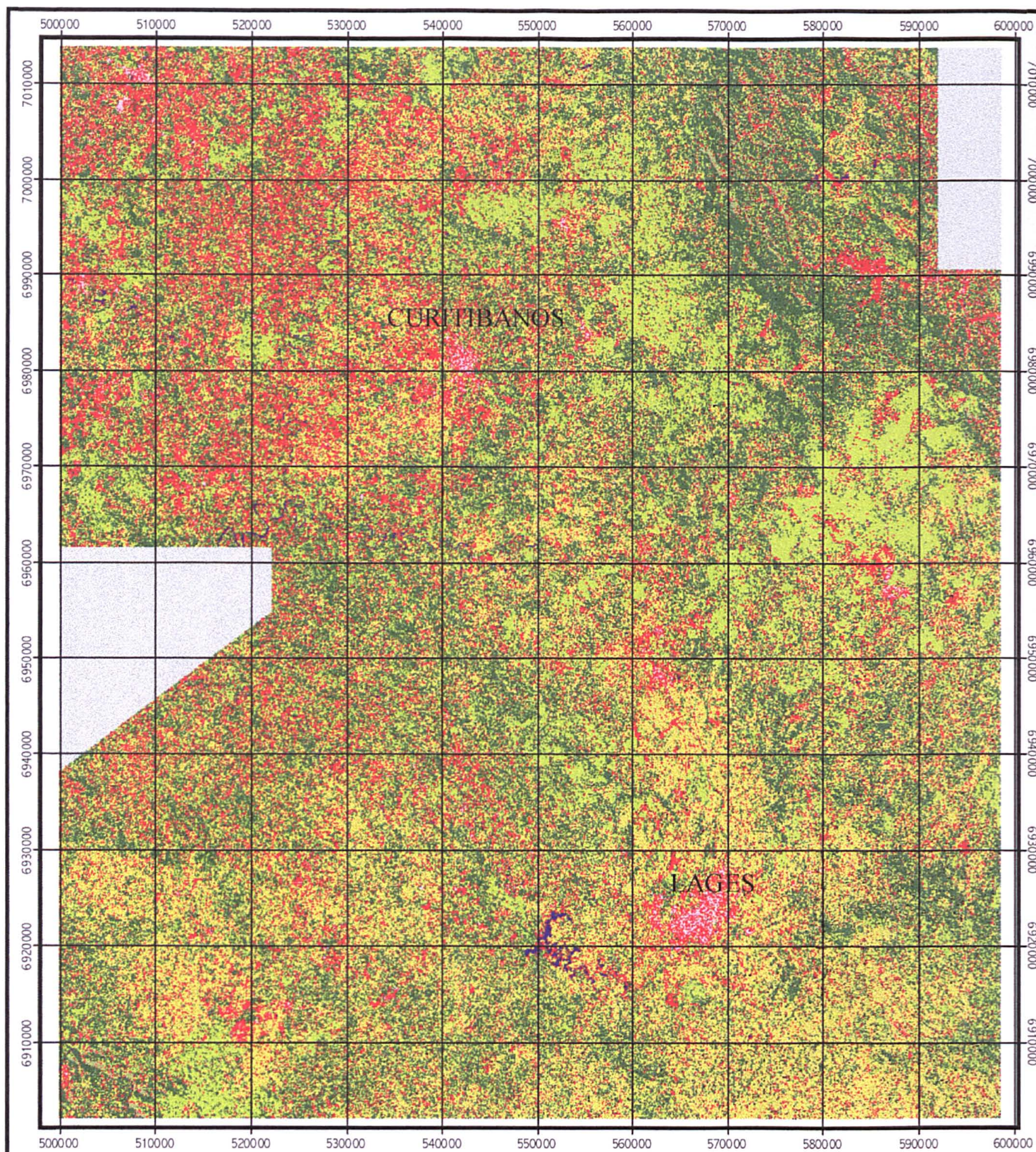
Escala 1:500.000  
Projeção UTM

**Classificação supervisionada utilizando-se  
as três primeiras principais componentes  
para o ano de 1986**



**ANEXO 3 - RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA  
UTILIZANDO-SE AS TRÊS PRIMEIRAS PRINCIPAIS  
COMPONENTES PARA O ANO DE 1997.**





### Legenda

Campo	240.055,29 ha
Cidade	5.770,08 ha
Nuvem	49.103,82 ha
Floresta Nativa	535.013,37 ha
Nulos	4.182,21 ha
Reflorestamento	114.230,52 ha
Solo exposto	141.462,99 ha
Sombra	11.889,99 ha
Água	2.527,29 ha



Escala 1:500.000  
Projeção UTM

Classificação supervisionada utilizando-se  
as três primeiras principais componentes  
para o ano de 1997



# ANEXO 4 - RELAÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE COLETADOS NO TRABALHO DE CAMPO

continua

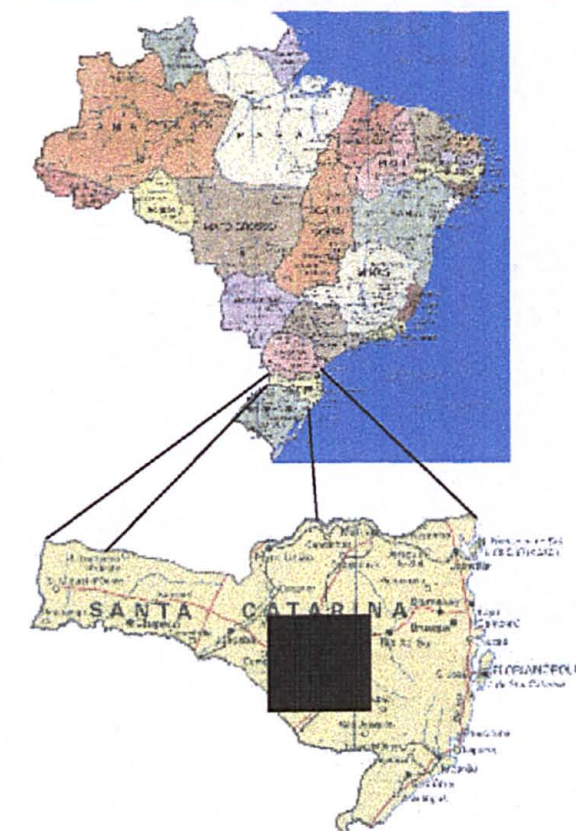
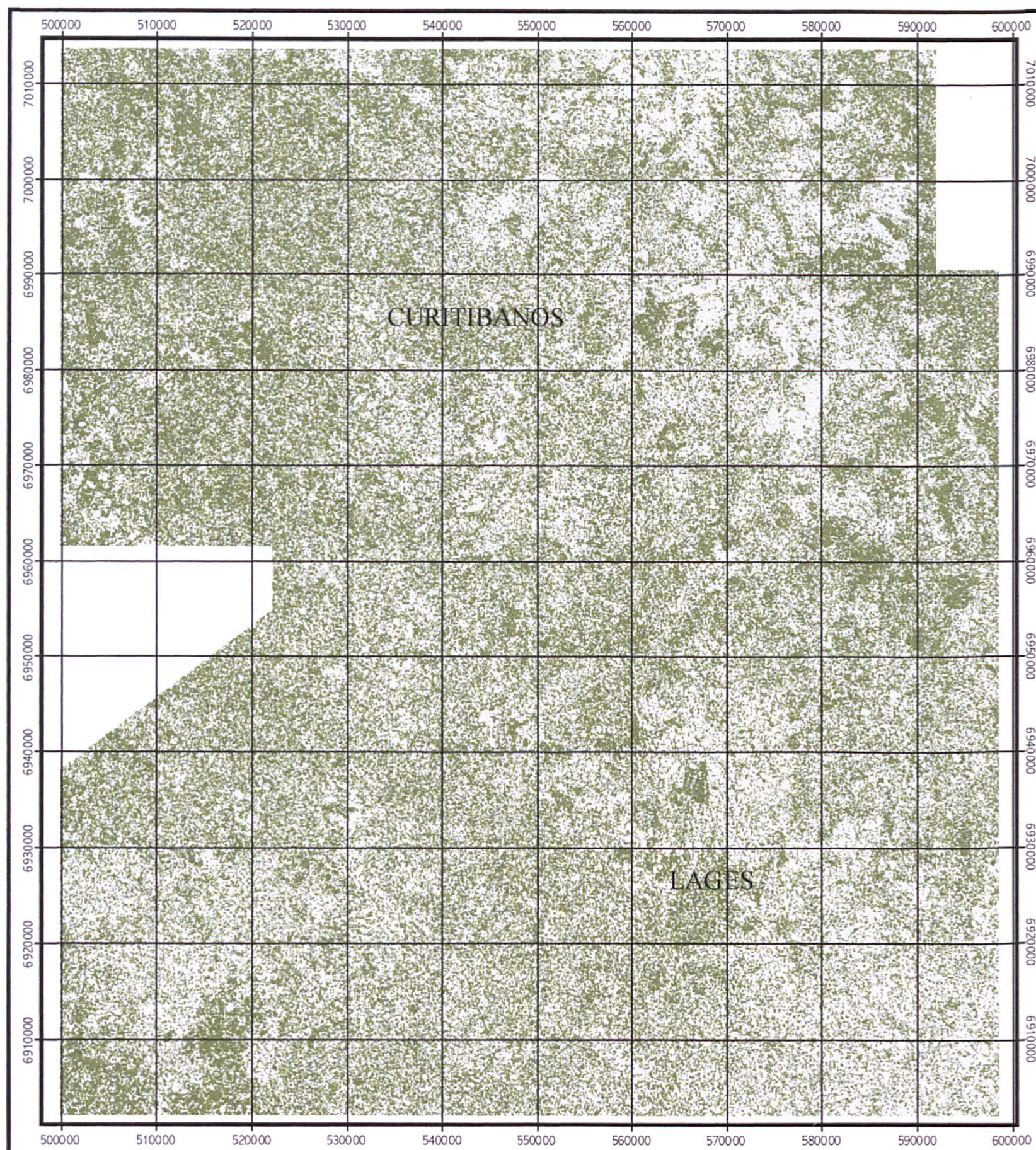
Ponto	Descrição da ocupação	Longitude	Latitude
1	REFLORESTAMENTO	551.600,00	6.996.211,00
2	CIDADE	552.677,00	6.996.024,00
3	FLORESTA NATIVA	548.082,00	6.978.615,00
4	CIDADE	542.216,00	6.981.064,00
5	FLORESTA NATIVA	535.902,00	6.981.450,00
6	CAMPO	534.423,00	6.982.023,00
7	SOLO EXPOSTO	543.181,00	6.981.816,00
8	SOLO EXPOSTO	543.417,00	6.984.221,00
9	CAMPO	536.379,00	6.990.573,00
10	SOLO EXPOSTO	535.319,00	6.996.588,00
11	CAMPO	535.437,00	6.993.830,00
12	CAMPO	536.573,00	6.987.663,00
13	SOLO EXPOSTO	538.597,00	6.984.879,00
14	FLORESTA NATIVA	546.392,00	6.978.554,00
15	REFLORESTAMENTO	557.052,00	6.977.634,00
16	CIDADE	562.680,00	6.952.178,00
17	CIDADE	562.628,00	6.924.851,00
18	CAMPO	554.512,00	6.925.926,00
19	REFLORESTAMENTO	551.222,00	6.923.478,00
20	REFLORESTAMENTO	551.159,00	6.923.374,00
21	SOLO EXPOSTO	551.065,00	6.923.148,00
22	SOLO EXPOSTO	548.638,00	6.922.450,00
23	REFLORESTAMENTO	548.461,00	6.923.264,00
24	REFLORESTAMENTO	548.484,00	6.923.306,00
25	REFLORESTAMENTO	548.232,00	6.924.259,00
26	REFLORESTAMENTO	548.353,00	6.924.207,00
27	CAMPO	547.042,00	6.926.019,00
28	REFLORESTAMENTO	546.463,00	6.927.246,00
29	CAMPO	554.717,00	6.926.471,00
30	CAMPO	549.501,00	6.927.437,00
31	FLORESTA NATIVA	547.180,00	6.932.642,00
32	CAMPO	543.384,00	6.936.852,00
33	CIDADE	541.281,00	6.940.651,00
34	SOLO EXPOSTO	540.192,00	6.941.816,00
35	FLORESTA NATIVA	541.994,00	6.944.334,00
36	FLORESTA NATIVA	542.881,00	6.945.096,00
37	FLORESTA NATIVA	543.813,00	6.945.993,00
38	CAMPO	544.824,00	6.946.212,00
39	FLORESTA NATIVA	546.127,00	6.948.294,00
40	CAMPO	547.011,00	6.947.886,00
41	SOLO EXPOSTO	548.302,00	6.947.579,00
42	CAMPO	549.121,00	6.948.458,00
43	CAMPO	550.061,00	6.947.568,00
44	REFLORESTAMENTO	550.817,00	6.948.885,00
45	CAMPO	551.989,00	6.949.263,00
46	REFLORESTAMENTO	552.931,00	6.949.957,00
47	REFLORESTAMENTO	554.364,00	6.950.137,00

# ANEXO 4 - RELAÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE COLETADOS NO TRABALHO DE CAMPO

conclusão			
Ponto	Descrição da ocupação	Longitude	Latitude
48	CAMPO	558.010,00	6.950.337,00
49	SOLO EXPOSTO	560.229,00	6.949.383,00
50	CIDADE	562.998,00	6.947.848,00
51	REFLORESTAMENTO	565.519,00	6.936.977,00
52	REFLORESTAMENTO	565.246,00	6.927.973,00
53	CAMPO	571.509,00	6.925.827,00
54	SOLO EXPOSTO	571.029,00	6.926.771,00
55	SOLO EXPOSTO	578.758,00	6.927.971,00
56	CAMPO	578.543,00	6.933.245,00
57	CAMPO	578.112,00	6.936.063,00
58	REFLORESTAMENTO	578.662,00	6.940.332,00
59	FLORESTA NATIVA	579.761,00	6.942.802,00
60	REFLORESTAMENTO	580.233,00	6.944.692,00
61	REFLORESTAMENTO	582.148,00	6.944.394,00
62	REFLORESTAMENTO	582.320,00	6.944.062,00
63	REFLORESTAMENTO	582.133,00	6.943.397,00
64	REFLORESTAMENTO	581.781,00	6.944.857,00
65	REFLORESTAMENTO	581.872,00	6.944.979,00
66	REFLORESTAMENTO	581.552,00	6.944.324,00
67	FLORESTA NATIVA	584.004,00	6.951.653,00
68	SOLO EXPOSTO	585.827,00	6.952.801,00
69	REFLORESTAMENTO	585.790,00	6.956.476,00
70	REFLORESTAMENTO	585.883,00	6.956.303,00
71	CIDADE	568.529,00	6.923.524,00
72	CIDADE	568.486,00	6.924.386,00
73	CIDADE	563.082,00	6.947.835,00
74	CIDADE	561.295,00	6.959.498,00
75	CIDADE	561.132,00	6.960.347,00
76	CIDADE	556.868,00	6.979.966,00
77	CIDADE	555.257,00	6.983.661,00
78	CIDADE	552.881,00	6.995.205,00

**ANEXO 5 - RESULTADO DA DIFERENÇA ENTRE AS CLASSIFICAÇÕES  
SUPERVISIONADAS DE 1986 E 1997**





## Legenda

- Regiões sem alterações no período de estudo
- Regiões com alterações no período de estudo



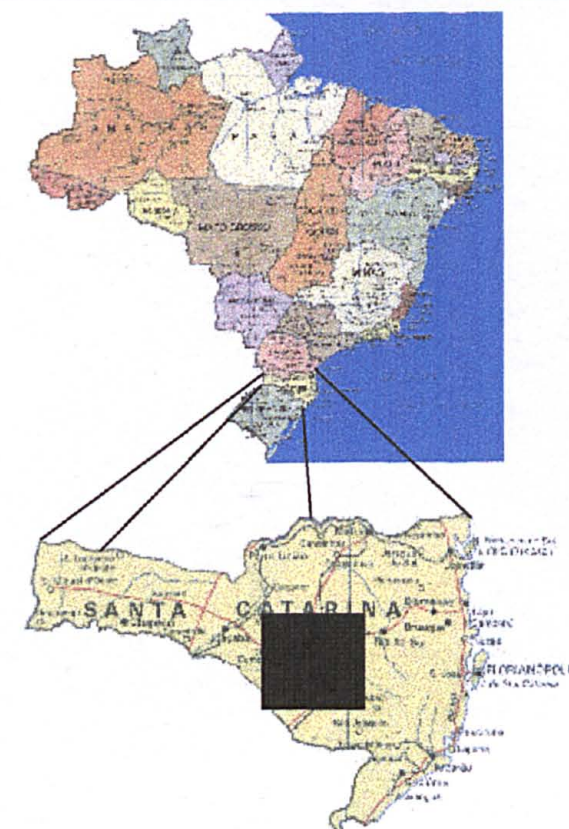
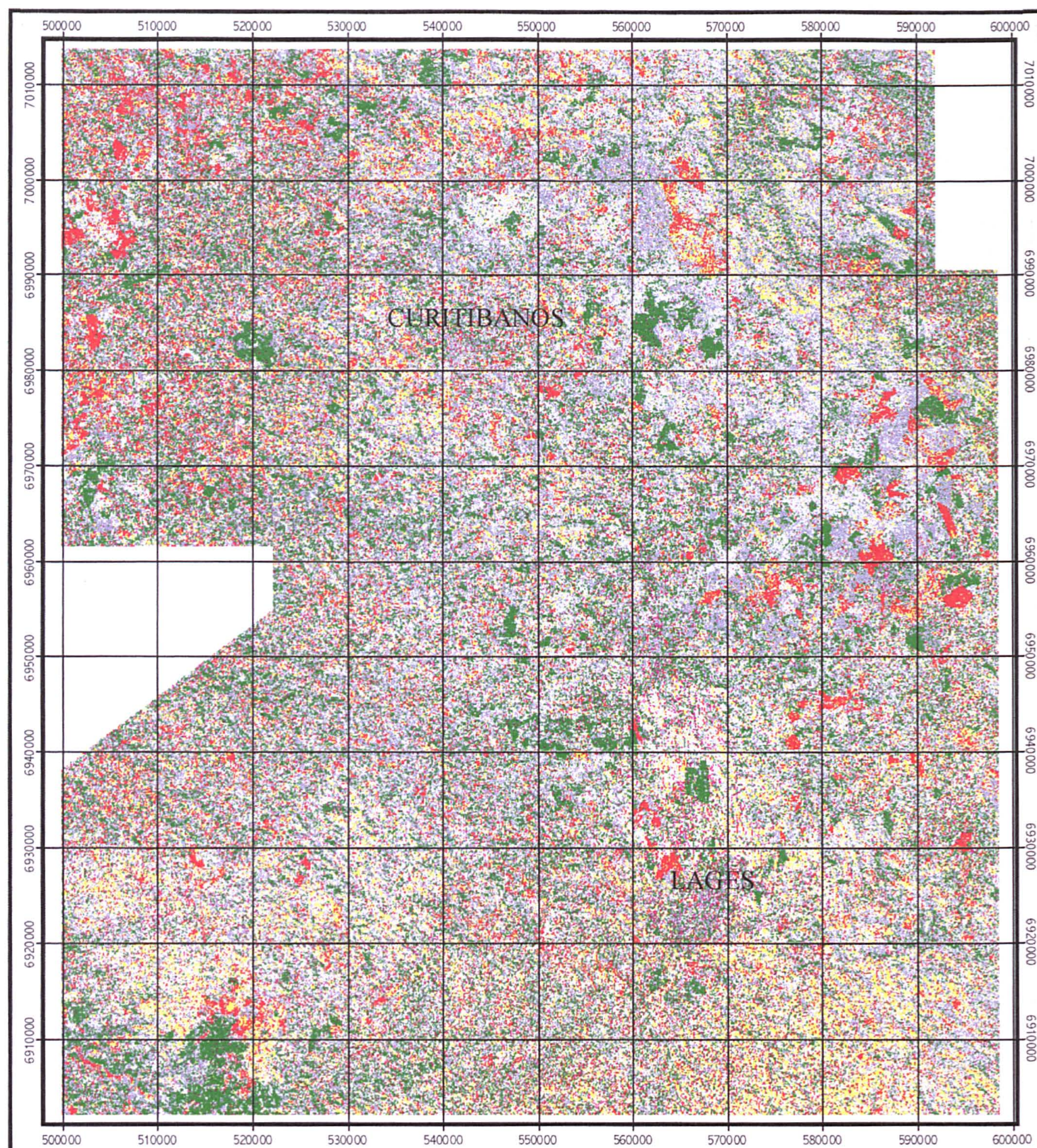
Escala 1:500.000  
Projeção UTM

**Imagem diferença entre as duas  
classificações supervisionadas,  
1986 e 1997**



**ANEXO 6 - RESULTADO DA ANÁLISE POR PRINCIPAIS COMPONENTES  
SELETIVAS DA BANDA TM 5, COM UM LIMIAR DE  
MUDANÇA DE 0,75 DESVIO PADRÃO.**





## Legenda

- 1 Confusão 1
- 2 Regiões sem mudanças
- 3 Confusão 2
- 100 Regiões com mudanças / recuperação
- 200 Confusão 3
- 300 Regiões com mudanças / degradação



Escala 1:500.000  
Projeção UTM

**Análise por principais componentes  
seletivas da banda TM 5, com limiar  
de mudança de 0,75 desvio padrão**